

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Insinöörityö

Jetta Uotila

SARANKULMAN RISTEYSSILLAN S10 SUUNNITTELU

Työn ohjaaja: TkL Olli Saarinen

Työn teettäjä: A-Insinöörit, valvojina TkT Vesa Järvinen, projektipäällikkö Kari Niemi

Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

Uotila, Jetta	Sarankulman risteyssillan S10 suunnittelu
Tutkintotyö	58 sivua + 124 liitesivua
Työn ohjaaja	TkL Olli Saarinen
Työn teettäjä	A-Insinöörit Oy, valvojina TkT Vesa Järvinen, projektipäällikkö Kari Niemi

Toukokuu 2007

Hakusanat sillansuunnittelu, teräsbetoninen laattasilta, rakennelaskelmat

TIIVISTELMÄ

Työssä suunniteltiin teräsbetoninen laattasilta, Sarankulman risteyssilta S10. Työn teettäjänä toimi A-Insinöörit Oy:n Tampereen sillansuunnittelun osasto. Työn tavoitteena oli mitoittaa sillan rakenteet urakkalaskennan pohjalta. Alkuun sillan dimensiot tarkennettiin huomioiden sillan sopiminen lopulliseen maastoonsa. Sillasta tehtiin 3d-mallinnus FEM-Design 7.0 - © StruSoft -ohjelmalla, jonka avulla saatiin voimasuureet ja siirtymät. Näiden pohjalta lähdettiin tekemään sillan rakenteiden mitoittamista. Tässä työssä ei käsitellä sillan alusrakenteiden suunnittelua muuten kuin yleiskuvan tasolla. Silta mitoitettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman ja sitä täydentävien ohjeiden mukaisesti. Kustakin tarkasteltavasta osasta tehtiin kertaalleen mitoitus käsin laskien, jonka jälkeen muut vastaavat osat mitoitettiin suunnittelutoimiston omia laskentapohjia käyttäen. Tuloksiksi saatiin laskelmien lisäksi piirustuksia yleispiirustuksesta raudoituskuviin. Sen lisäksi, että käsin laskenta ja laskentapohjat toimivat toisilleen tarkastavina tekijöinä, voitiin saatuja tuloksia verrata vieressä sijaitsevaan vanhaan risteyssiltaan, jonka kuormien pitäisi olla samaa suuruusluokkaa uuden sillan kanssa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Department of Construction Technology

Uotila, Jetta Designing Crossing Bridge Sarankulma S10

Engineering Thesis 58 pages + 124 appendices

Thesis Supervisor Lic.Sc. (Tech.) Olli Saarinen

Commissioning Company A-Insinöörit Oy. Supervisor: D.Sc. (Tech.) Vesa Järvinen
projektipäällikkö Kari Niemi

May 2007

Keywords bridge designing, reinforced concrete slab bridge, structural analysis

ABSTRACT

The purpose of this study was to design crossing bridge Sarankulma S10, a reinforced concrete slab bridge. This work was commissioned by the bridge design department of A-Insinöörit Ltd. The designing was based on preliminary contract plans for the bridge. To begin with, the dimensions of the bridge were defined with consideration of how the bridge will fit in to the landscape. At the beginning dimensions of the bridge were defined. The 3d-modeling of the bridge was made by FEM-Design 7.0 - © StruSoft. After analysing the structural model, the computed element forces and displacements were examined and applied to the dimensioning. In this work, the sub structures of the bridge were not studied. The bridge was designed in accordance with the National Building Code of Finland and supplementary instructions. At first, each part of the bridge was dimensioned manually, thereafter all similar parts were dimensioned by using a computer program. In addition to calculations, this work includes drawings from general drawings to reinforcement drawings. Apart from cross-comparison of the manual dimensioning and computer dimensioning, the results were also analysed by comparing the new bridge to the old one that already exists.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö tehtiin insinööritoimisto A-Insinöörit Oy:n tilauksesta. Tavoitteena oli suunnitella osa Sarankulman risteyssiltaa S10. Työn valvojana toimi Olli Saarinen ja ohjaajina Vesa Järvinen sekä projektipäällikkö Kari Niemi.

Tehdessäni työtä toimiston tiloissa suureksi avuksi ovat olleet osaston muut työntekijät. Kiitän ajatustyöstä Anssi Laaksosta ja Esko Syrjälää, Markku Äijälälle kiitokset myös mallintamisesta. Merja Malassulle kiitos pääsemisestä kiinni sillan geometriaan ja Seppo Raitiolle piirustusten viimeistelystä. Erikoiskiitokset kuuluvat ohjaajille Kari Niemelle ja Vesa Järviselle suuresta avusta työssä etenemiseen niin suunnitelmien kuin teoriankin osalta.

Tampereella 30.4.2007

Jetta Uotila

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

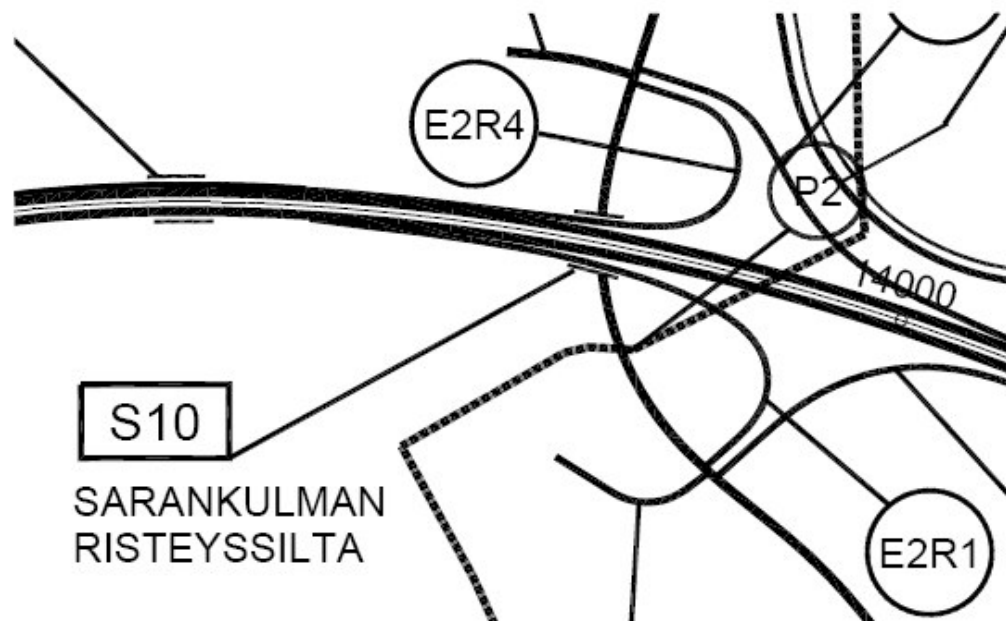
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 LÄHTÖKOHDAT MITOITUKSELLE	7
2.1 Sillan geometria.....	7
2.2 Sillan kuormitustiedot	9
2.3 Sillan mallinnus ja tulosteet.....	20
3 RAKENNELASKELMAT	22
3.1 Laatta	23
3.1.1 Murtorajatilatarkastelut	24
3.1.2 Käyttöraajatilatarkastelut.....	43
3.2 Puskulevy	56
3.3 Siipirakenne	56
4 TULOKSET	56
5 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET	57
LÄHTEET	58

LIITTEET

1. Piirustukset
2. Tulokset FEM-Design 3d-mallinnuksesta
3. Kannen lujuuslaskelmat
4. Puskupalkin lujuuslaskelmat
5. Siipien lujuuslaskelmat
6. Liikennekuormien sijoittelu poikkileikkauksessa
7. Tukireaktiot
8. Mitoittavat voimasuureet ja siirtymät

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on suunnitella risteyssilta eli kahden tien eritasoristeykseen rakennettava silta. A-Insinöörit Oy:n siltapuolen suunnitteluosastolla yksi vuonna 2006 - 2007 meneillään olevista projekteista on Läntisen kehätien parannukset Tampereella. Sarankulman risteyssillan suunnittelu, johon osallistun, kuuluu projektiosa A:n toisessa vaiheessa toteutettaviin kohteisiin. Silta tulee Tampereelle Sarankulmaan, valtatie 3:n ja kantatie 2:n risteykseen vanhan, jo olemassa olevan sillan viereen (kuva 1).



Kuva 1 Sillan sijainti tieverkossa.

Kyseisestä sillasta on tehty urakkavaiheen suunnitelmat. Aluksi tarkoitukseni on tarkentaa sillan geometriaa: dimensioita ja korkotietoja. Lisäksi lasken sillalle tulevat kuormitukset. Tämän jälkeen sillalle saadaan selvitettyä voimasuureet ja siirtymät, joihin pohjautuen varsinainen mitoitus tehdään. En suunnittele yksin koko siltaa vaan työni tarkoitus pääosin on mitoittaa päällysrakennetta eli pääkannattimena toimivaa laattaa sekä pusкупalkkeja ja siipirakenteita.

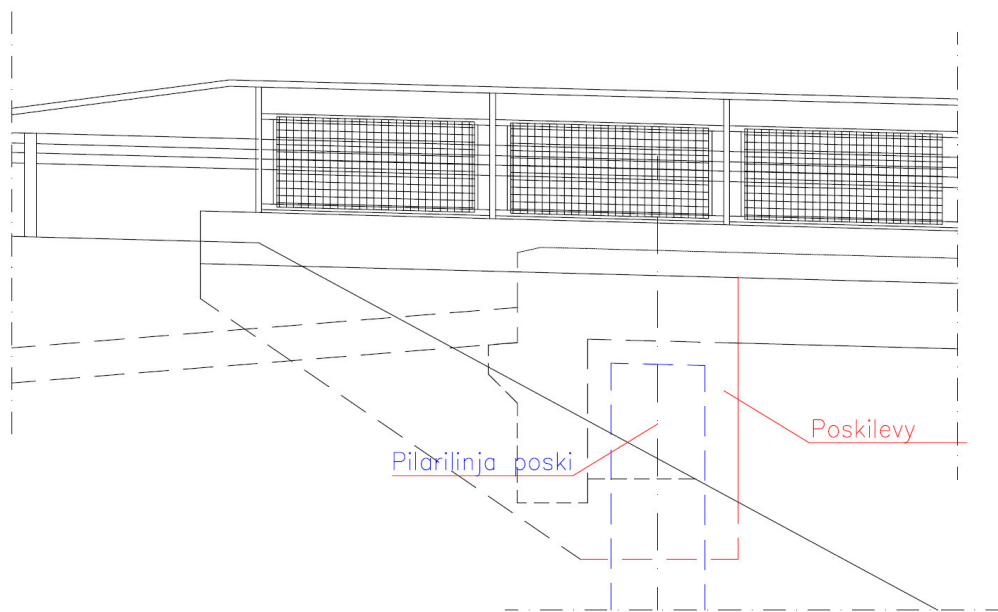
Mitoitusta varten tarvittavat voimasuureet saadaan 3d-mallinnuksen kautta. Mallintamisen suorittaa toinen henkilö A-Insinööreiltä. Mallinnus suoritetaan tarkentamieni lähtötietojen kautta.

Kuva 2 Eteläpuolella olemassa oleva silta. Luiskia siltojen ympärillä.

Tulevan Sarankulman risteyssillan vieressä sijaitsee jo olemassa oleva silta, joten ulkonäöllisesti uuden sillan piti sopia sen kanssa yhteen. Urakkalaskentaa varten tehdyssä urakkavaiheen suunnitelmissa ja kuvissa tämä on jo otettu huomioon. Silloilla on rakenteellisesti erilainen toimintatapa, mutta silti dimensioidut ja ulkonäkö piti pyrkiä säilyttämään jollain tapaa yhtenäisinä. Tästä johtuen esimerkiksi sillan päiden pilarilinjat on pyritty piilottamaan poskilevyjen taakse (kuva 3a ja -b). Poskilevyt eivät ole kantavia rakenteita.



Kuva 3a Olemassa olevan Sarankulman sillan päätyä /Ramboll Finland Oy/.



Kuva 3b Piirros S10 Sarankulman risteyssillasta päädyistä. Pilarilinja piilotetaan poskilevyn taakse.

Geometriassa sillalle määriteltiin mittoja. Mittoihin vaikuttivat vieressä sijaitseva vanha silta, alla kulkeva tie ja kevyen liikenteen väylä sekä maastoon suunnitellut luiskakaltevuudet. Näin saatiin alustavat dimensiot rakenteille (yleiskuva, liite 1). Lähtökohtainen koko saattaa tämän jälkeen muuttua tarvittaessa, mutta siihen pyritiin, ettei poikkileikkauksen koko muuttuisi kovin monta kertaa. Tämän piirtovaihe on tehty Autocad-ohjelmalla.

Sillan yleistiedot:

Siltatyyppi:	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta.
Jännemitta:	$11,400 + 14,000 + 11,400 = 36,800 \text{ m}$
Hyötyleveys:	muuttuva, 17 914...21 064 mm
Vinous:	5,2 g + 5,6 g

2.2 Sillan kuormitustiedot

Seuraavaksi selvitettiin kuormat. Kuormituksiin vaikuttavat erilaiset määräykset, jotka määräytyvät kohteen ja käyttötarkoituksen mukaisesti.

Pysyvät kuormat /7/

Omapaino

Betoni	$G = 25 \text{ kN/m}^3$
Pintarakenne	$G = 0,11 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 = 2,64 \text{ kN/m}^2$
- asfalttibetonia	
Kaide	$G = 0,5 \text{ kN/m}$
Lisäpäällyste	$G = 1,0 \text{ kN/m}$

Kutistuma

Kutistuman ja viruman arvot lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen B4 mukaan ottaen huomioon Tiehallinnon ohjeissa esitetyt täydennykset. /8; 9; 10/

Betoni K35-1

Loppukutistuma lasketaan kaavasta /10, s. 11/

$$\varepsilon_{cs} = k_{sh} \cdot \varepsilon_{cs0} \quad (1)$$

missä ε_{cs0} = betonin loppukutistuman perusarvo, joka ulkoilmassa sijaitsevalla rakenteella on $0,4 \cdot 10^{-3}$ /9, s. 12/.

k_{sh} = rakenteen muunnetusta paksuudesta h_e riippuva kerroin, joka saadaan taulukosta 2.4. Muunnettu paksuus lasketaan siten, että poikkileikkauksen pinta-ala jaetaan sen piirin puolikkaalla /10, s. 11/.

Kutistuma T1:n päädyistä:

$$A_{T1} = 13,70\text{m}^2 \quad \text{piiri} \quad p_{T1} = 36,66\text{m}$$

$$h_e = \frac{A_{T1}}{0,5 \cdot p_{T1}} = \frac{13,70\text{m}^2}{0,5 \cdot 36,66\text{m}} = 0,75 \quad (2)$$

$$k_{sh} = 0,50$$

Tarkistetaan varmuuden vuoksi T4:n päädyistä:

$$A_{T2} = 16,02\text{m}^2 \quad \text{piiri} \quad p_{T2} = 42,4\text{m}$$

$$h_e = \frac{A_{T2}}{0,5 \cdot p_{T2}} = \frac{16,02 \text{m}^2}{0,5 \cdot 42,4 \text{m}} = 0,76$$

$$k_{sh} = 0,50$$

OK

Loppukutistuma saadaan kaavasta 1

$$\varepsilon_{cs} = k_{sh} \cdot \varepsilon_{cs0} = 0,50 \cdot 0,4 \text{‰} = 0,2 \text{‰}$$

Viruma

Virumaluvun perusarvo $\varphi_0 = 2$

/9, s. 12/

Muunnettu paksuus $h_e = 0,75 \text{ m} > 0,5$ $k_{ch} = 0,7$

/10, s. 12/

Virumaluku saadaan kaavasta

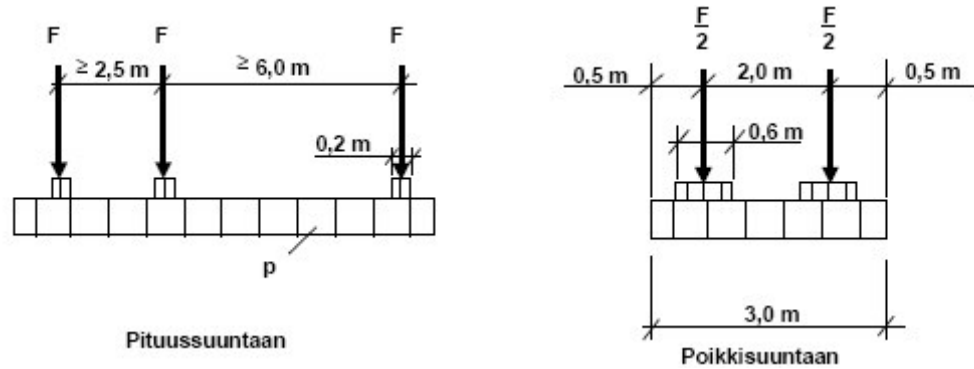
$$\varphi = k_{ch} \cdot \varphi_0 = 0,7 \cdot 2,0 = 1,4$$

(3)

Muuttuvat kuormat

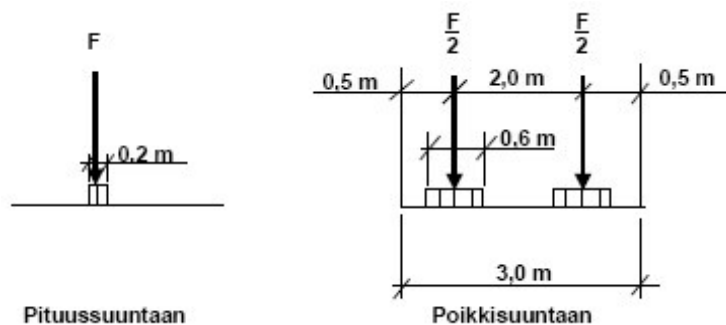
Liikennekuormat

Ajoneuvokuorma määritetään käyttäen kuormakaavioita 1, 2 ja 3. Lisäksi määritetään raskas erikoiskuorma, jonka ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti kaavioiden 1, 2 ja 3 kanssa paitsi mahdollisesti kuormakaavion 1 kanssa, kun kyseessä on kaksiajoratainen silta. Kuormakaavio 1 käsittää tasaisesti kuormakaistan leveydelle ja-kautuneen kuorman p ja kolmen akselin F muodostaman akseliryhmän (kuva 4). /9/

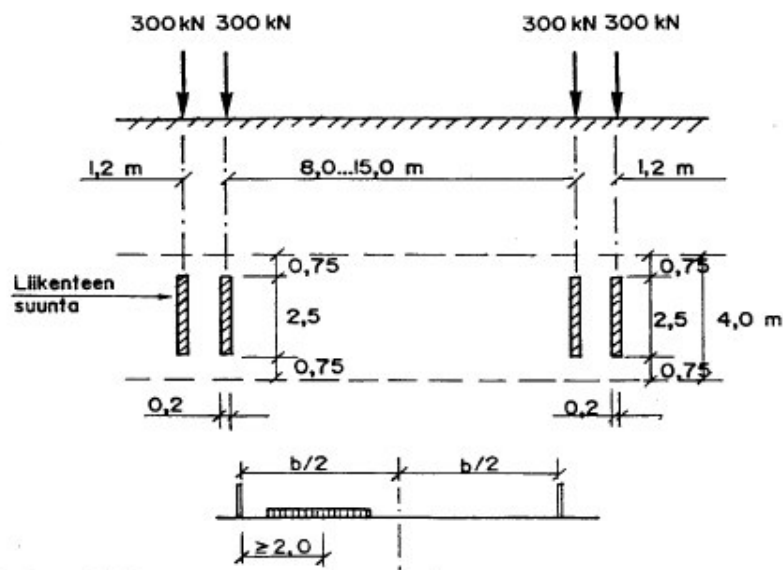


Kuva 4 Kuormakaavio 1 /9, s.13/.

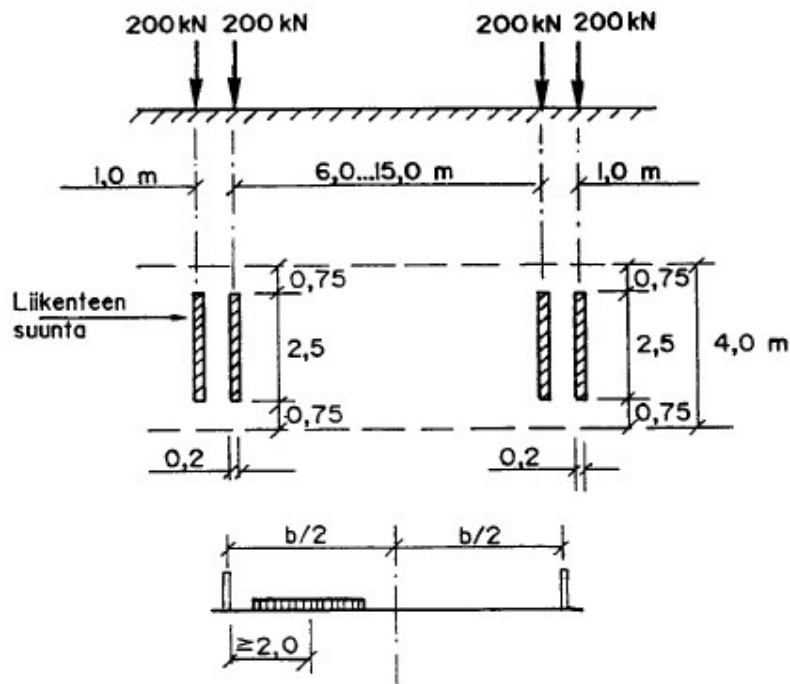
Kuormakaavio 2 käsittää kahden keskiöväliältään 2 metriä olevan pyöräkuorman muodostaman akselikuorman F (kuva 5). Kuormakaavio 3 on yksi pyöräkuorma, joka on vastaavan suuruinen, kuin kuormakaaviossa 2. Raskas erikoiskuorma on kuvien 6 ja 7 mukainen. /9, s.14/



Kuva 5 Kuormakaavio 2 /8, s.14/.



Kuva 6 Raskas erikoiskuorma 1 kuormaluokassa I (ilman sysäyslisiä) /9, s.15/.



Kuva 7 Raskaas erikoiskuorma 2 kuormaluokassa II (ilman sysäyslisiä) /9, s.16/.

Kuormien sijoittelu on tehty FEM-Design-ohjelmaan annettuina erillisinä kuormitustapauksina, joista haetaan vaikutukseltaan määräävät kaaviot. Niiden oletetaan kuormittavan 3 metrin levyistä kuormakaistaa. /9/ Tehdyt yhdistelyt nähdään liitteestä 6.

Esimerkiksi 5 kaistalla:

Kuormakaistalla voidaan ajatella olevan yksi kolmen akselin kuormaryhmä. Akselikuorma muodostuu taas kahdesta pyöräkuormasta (eli $2 \times 3 \times$ kuorman suuruus).

Kuormaluokassa I akselikuorman F suuruus on 210 kN

nauhakuorman p 9 kN/m /9, s. 13/.

LkI: 5 kaistaa $p = 3 \text{ kN/m} \cdot 5 \cdot 3 \text{ m} = 45 \text{ kN}$

Akselit $2 \times 3 \times 210 \text{ kN}$ sijainti viidellä kaistalla mielivaltaisesti

Raskaaseen erikoiskuormaan (kuormaluokassa I kuvan 6 mukainen) lisätään

40 %:n sysäyslisiä rakenteen ollessa välittömästi tai enintään 0,5 m paksun täytekerroksen välityksellä kuormitettu. /9, s. 15/

$$\begin{aligned}\underline{\text{Ek1:}} \quad p &= 4 \times 300 \text{ kN, sysäyslisä } 40 \% \\ &\rightarrow p = 4 \times 420 \text{ kN}\end{aligned}$$

Liikennekuorman aiheuttama maanpaine

Pystysuora liikennekuorma penkereellä sillan takana kuormaluokassa I

$$q = 20 \text{ kN/m}^2 \quad /9, \text{ s. } 17/$$

Jarrukuorma

Jarrukuorma interpoloidaan suoraviivaisesti kuvan 8 arvoista, $L = 39,0 \text{ m}$

$$\Rightarrow p = 200 + \frac{(500 - 200) \text{ kN}}{(40 - 10) \text{ m}} \cdot (39 - 10) \text{ m} = 490 \text{ kN}$$

Kuormaluokka	Jarrukuorma P (kN)	
	I	II
Siltapituus $L \leq 10 \text{ m}$	200	150
Siltapituus $L \geq 40 \text{ m}$	500	375

Kuva 8 Ajoneuvon jarrutuksen ja kiihdytyksen aiheuttaman vaakasuoran kuorman (jarrukuorman) suuruus /8, s. 17/.

Jarrukuorma voi vaikuttaa kumpaan suuntaan tahansa. Samanaikaisesti otaksutaan siltaa kuormitettavan kuormakaavion 1 nauhakuormalla p . /9, s.17/

Sivusysäys

Esimerkiksi ajoneuvon vinoon tapahtuva jarrutus tms. saattaa aiheuttaa vaakasuoran kuorman kohtisuoraan tien pituussuuntaa vastaan. Kuorman oletetaan vaikuttavan ajoradan tasossa. Sivukuorman eli sivusysäyksen suuruus on 25 % jarrukuorman suuruudesta. /9, s. 18/

$$P_{sivu} = 0,25 P_{jarru} = 0,25 \cdot 490 \text{ kN} = 122,50 \text{ kN} \quad (4)$$

Keskipakokuorma

Keskipakokuormaa ei huomioida S10:ssä, sillä $R > 1500$ m. /9, s.19/

Lämpötilakuormat

Kyseessä on betonilaatta, joka sijaitsee alueella 1, eli linjan Oulu-Kuopio-Lappeenranta länsipuolella. Rakenteen ylin keskilämpötila on tällöin $+25^{\circ}\text{C}$ ja alin keskilämpötila -25°C . Rakenteen lämpötilojen muutosten oletetaan lähtevän tilanteesta, jolloin rakenteen lämpötila on $+10^{\circ}\text{C}$. /9, s. 21-22/

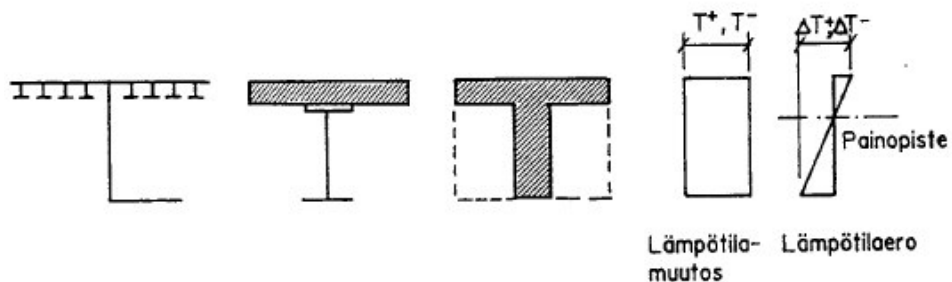
Lämpötilan nousu $+25^{\circ}\text{C} - (+10^{\circ}\text{C}) = +15^{\circ}\text{C}$

Lämpötilan lasku $-25^{\circ}\text{C} - (+10^{\circ}\text{C}) = -35^{\circ}\text{C}$

Pintalämpötilaero:

yläpinta lämpimämpi $+10^{\circ}\text{C}$

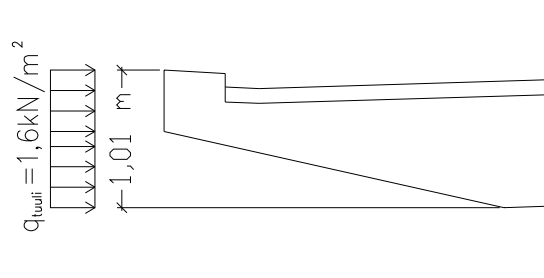
alapinta lämpimämpi -5°C



Kuva 9 Periaatekuva lämpötilaeroista T^+ ja T^- /9, s. 22/.

Tuulikuorma

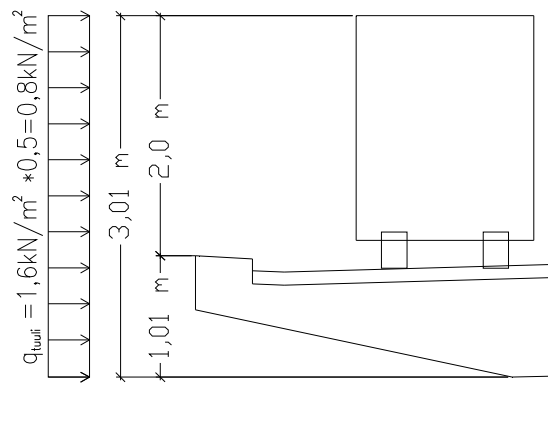
Lasketaan tuulikuorma kannelle (määrävin rakenteiden kannalta). Silta on alle 10 m korkea maanpinnasta (kaidetta ei huomioida) \rightarrow tuulikuorma $w = 1,6 \text{ kN/m}^2$. /9, s. 22/



$$V_1 = 1,01 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ kN/m}^2 = 1,62 \text{ kN/m}$$

Kuva 10 Tuulikuorma kannelle.

Ajoneuvoista johtuvan tuulikuorman oletetaan olevan 50 % tuulikuormasta (kuva 11). /9, s.23/



$$V_2 = 3,01 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 = 2,41 \text{ kN/m}$$

Kuva 11 Ajoneuvoista johtuva tuulikuorma.

$$V_1 \leq V_2 \quad \rightarrow \quad V_2 \text{ on määräävä}$$

Törmäyskuorma

Sillalla S10 on olemassa raskaan ajoneuvon törmäysvaara sillan alusrakenteisiin. Huomioidaan törmäyskuorma mitoittamalla rakenteet tien pituussuunnassa 1000 kN ja kohtisuoraan tätä vastaan 500 kN suuruiselle staattiselle vaakasuoralle kuormalle. Kuormien ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti. /9, s.25/

Tukien siirtyminen

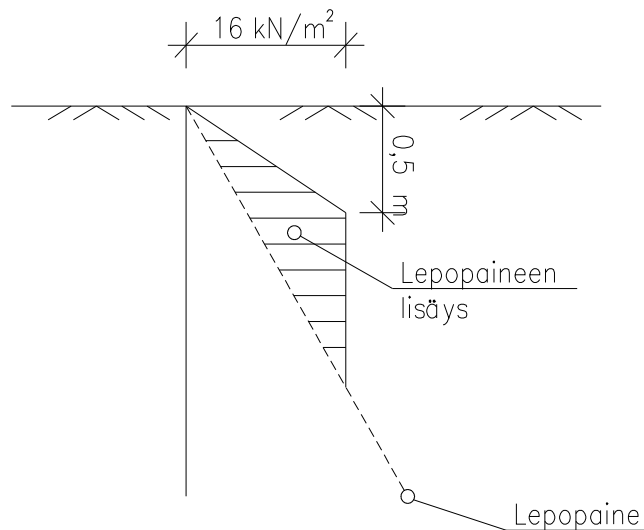
Varaudutaan 20 mm tukipainumaan jokaisen tuen (T1, T2, T3 ja T4) osalla.

Maanpaine

Tilavuuspainot γ ja kitkakulmat ϕ saadaan materiaalin mukaan. /6, s.48/

Materiaali: pengertäyte $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 38^\circ$

Tiivistyslisästä johtuva lepopaineen lisäys huomioidaan kuvan 12 mukaisesti.



Kuva 12 Lepopaineen lisäys.

Lepopaine kerroin saadaan kaavasta /6, s.48/

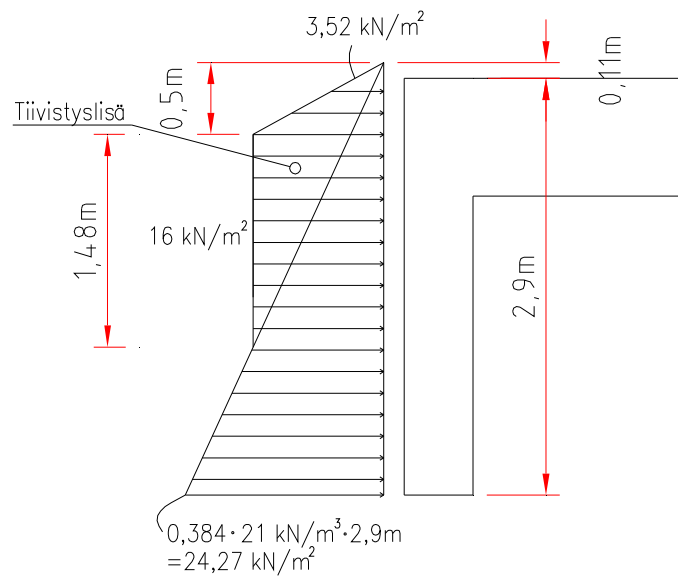
$$K_0 = 1 - \sin \phi = 0,384 \quad (5)$$

Puskulevyjen lepopaine

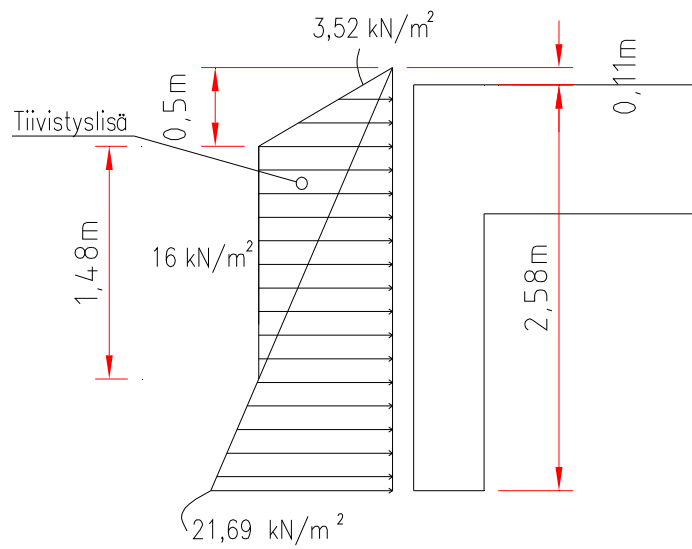
Lepopaine P_0 saadaan kaavasta /11/

$$P_0 = \gamma \cdot \phi \cdot K_0 \quad (6)$$

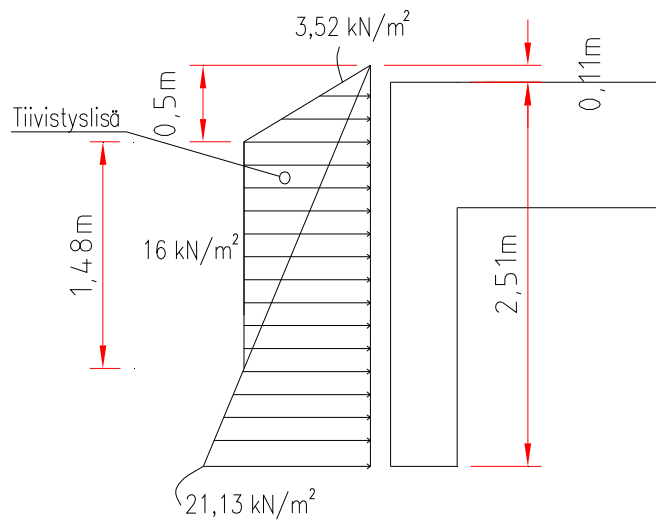
Puskulevyt eivät ole tasakorkuisia, joten tarkastellaan tilanne erikseen puskulevyn matalimmalla ja korkeimmalla kohdalla (kuvat 13-16).



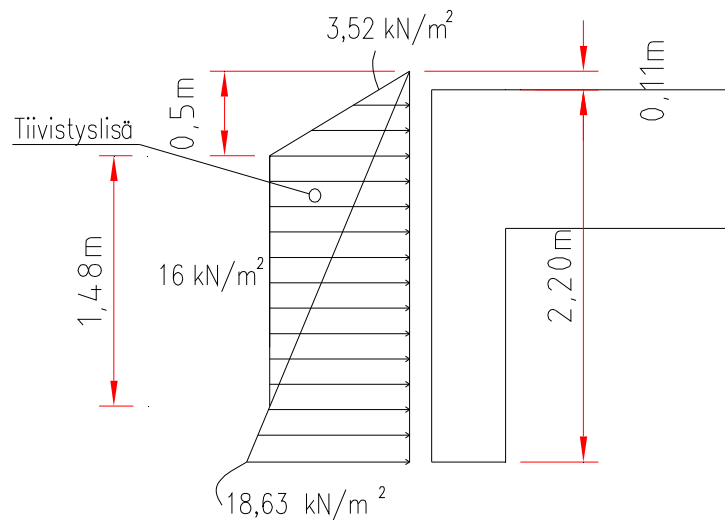
Kuva 13 Puskulevy tukilinjalla T1, korkein kohta.



Kuva 14 Puskulevy tukilinjalla T1, matalin kohta.



Kuva 15 Puskulevy tukilinjalla T4, korkein kohta.



Kuva 16 Puskulevy tukilinjalla T4, matalin kohta.

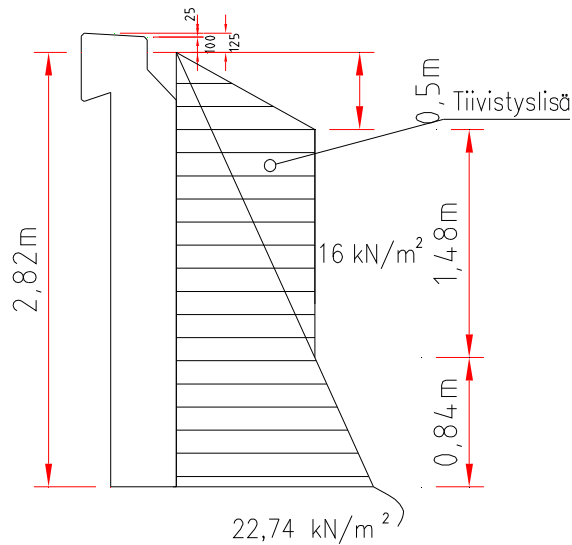
Maanpainetta aiheutuu myös liikennekuorman aiheuttamasta maanpaineesta:

- pystysuorasta maanpaineesta siirtymälaatoille
- vaakasuorasta maanpaineesta päätypalkeille ja siiville.

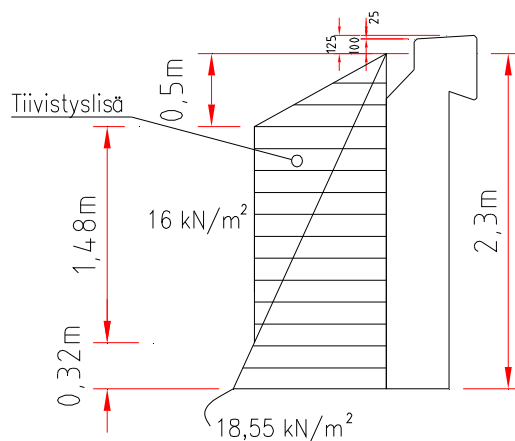
Liikennekuorman aiheuttama maanpaine tasaisena kuormana kuormaluokassa I /6/

$$q_d = K_0 \cdot q = 0,384 \cdot 20 \text{ kN/m}^2 = 7,68 \text{ kN/m}^2 \quad (7)$$

Siipien maanpaine



Kuva 17 Siipien maanpaine tuella T1, siivet 1 ja 2.

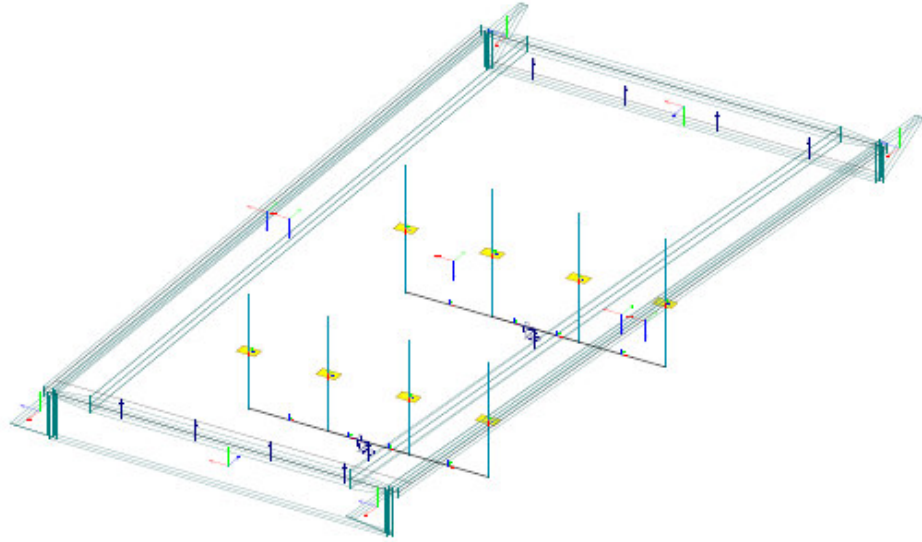


Kuva 18 Siipien maanpaine tuella T4, siivet 3 ja 4.

2.3 Sillan mallinnus ja tulosteet

Kuormatietojen ja dimensioiden selvittyä silta mallinnettiin 3d:nä. A-Insinöörit Oy:ssä siltojen mallinnus suoritetaan useimmiten siihen soveltuvalla, mutta hieman työläällä Lusas-ohjelmalla. Sarankulman risteys sillassa käytettiin kuitenkin FEM-Design 7.0 - © StruSoft -ohjelmaa. Samalla ohjelmalla oli äskettäin mallinnettu vastaava teräsbetoninen laattasilta. Oletuksena oli, että S10 saataisiin mallinnettua

nopeammin tällä ohjelmalla käyttäen edellistä mallinnusta pohjana. Mallintamisen teki DI Markku Äijälä A-Insinööreiltä.



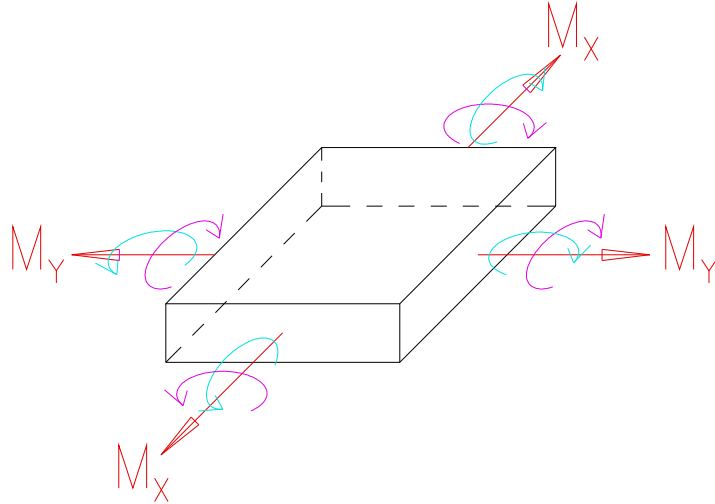
Kuva 19 FEM-Design-ohjelmalla tehty malli. Oikeanpuoleinen reuna on valtatie 3:n puoleinen.

Käytetty ohjelma ei pysty kunnolla käsittelemään kuin n. 100 erilaista kuormitusyhdistelmää. Tämä johtaa siihen, että mallinnettaessa siltaa joudutaan rajaamaan pois tapauksia, jotka eivät ole mitoittavia. Liikennekuormien sijoittelu S10:ssä tehtiin liitteessä 6 olevan kuvan mukaisesti.

”Useiden kuormien vaikuttaessa samanaikaisesti on kuormayhdistelmät ja varmuuskertoimet sekä kuormien sijoittelu valittava siten, että eri rakenteille ja rakeneosille tulee suurimmat mahdolliset vaikutukset.” /9, s. 28/. Kuormayhdistelyt pyritään tekemään siten, että kuormat jotka esiintyvät toistensa kanssa usein samanaikaisesti maksimiarvolla, voidaan laskea yhdeksi. Vastaavasti kuormia, jotka eivät todennäköisesti vaikuta yhtäaikaaisesti tai kumoavat toisena, ei yhdistellä samaan. Esimerkiksi pystysuoran liikennekuorman kaaviot 1, 2 tai 3 sekä raskas erikoiskuorma ovat tällaisia, ei yhtä aikaa esiintyviksi laskettavia. /9, s. 28/

Ohjelma laskee momentteihin myös väännön, joka ei vaikuta suoraan pysty- tai vaakasuunnassa. Siitä aiheutuvat voimat huomioidaan resultanteilla

$M_{xy} (= M_{xd} + M_{yd})$ pääsuuntien M_x ja M_y momentteihin (kuva 20).



Kuva 20 Periaatekuva laattaan mahdollisesti vaikuttavista voimista pääsuunnan momenttien lisäksi.

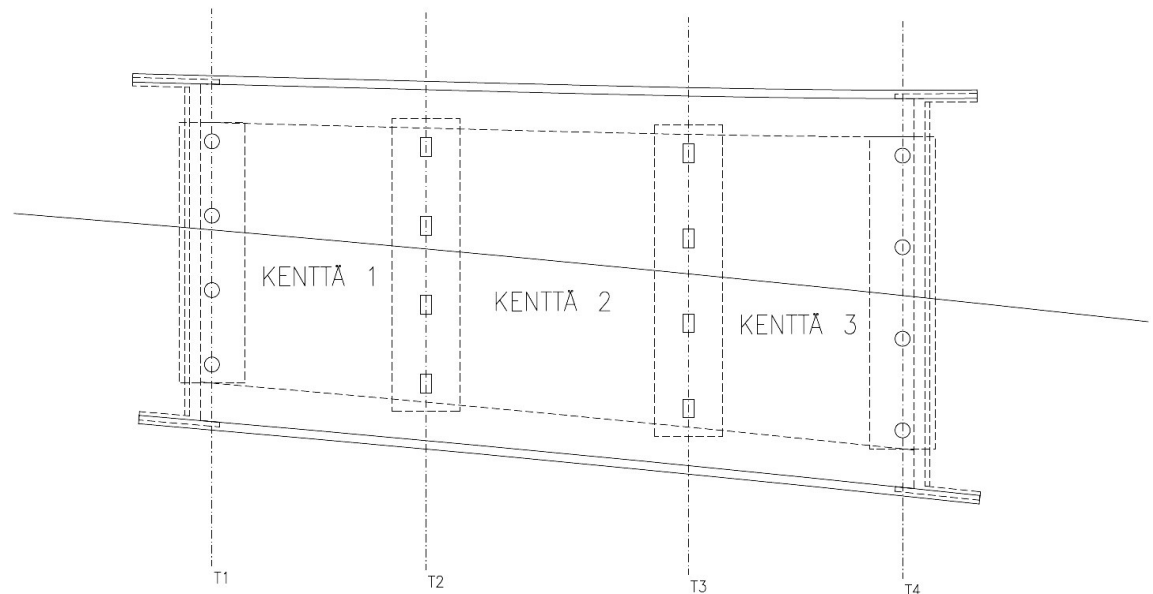
Tulosteina 3d-mallinnuksesta saadaan sillalle voimasuureet sekä murtorajatilassa että käyttörajatilassa. Koska käytetyn ohjelman kapasiteetti ei riitä yhdistelemään kaikkia mahdollisia kuormitusyhdistelmiä, on yhdistely tehtävä saaduista tuloksista osittain käsin. Lisäksi kuormitusyhdistelmien määrän ollessa rajallinen ei molemmille reunoille ole mallinnettu kaikkia kuormakaistoja. Näin ollen mitoittaessa on tuloksista huomioitava valtatie vt3 puolelta saatavat raudoitusmäärät (kuva 19) Valitsemalla samansuuruisen raudoituksen myös rampin e2r4 puoleiselle reunalle ollaan varmallalla puolella. Tulosteet ovat liitteessä 2.

3 RAKENNELASKELMAT

S10 mitoitetaan vanhojen normien mukaisesti koska projekti, johon kyseinen silta kuuluu, on alkanut ja osa siitä on toteutettukin ennen kuin uudet betoninormit on otettu käyttöön.

3.1 Laatta

Sillan pääkannatinrakenteen mitoittamisessa tutkitaan taivutus, leikkaus ja lävistys murtorajatilassa. Lisäksi tarkistetaan halkeilu ja taipuma käyttörajatilassa. Edellä mainitut lasketaan erikseen kaikkien tukien ja kenttien kohdalla. Saaduista tuloksista valitaan määräävimmit siten, että halkeilu- ja taivutustarkasteluissa saatuja tuloksia verrataan keskenään ja valitaan aina paikoittain suurempi tarvittava raudoitus. Samalla tavalla verrataan keskenään leikkauksen ja lävistyksen vaatimia haka-raudoituksia. Rakenteelta tarkastellaan myös taipuma ja sen vaatima esikorotus. Laatan voimasuureet on esitetty liitteessä 3 ja siirtymät liitteessä 8. Mitoittavat arvot on otettu näistä joko suoraan tai yhdistelemällä.



Kuva 21 Siltaa tarkastellaan tukilinjojen kohdilla sekä kuvan mukaisissa kentissä.

Vähimmäisraudoitus

Vähimmäisraudoitusvaatimukset suorakaidepoikkileikkaukselle Sillansuunnittelun täydentävien ohjeiden liitteen 3.5 /8, s.52/ mukaisesti saadaan

$$A_{s\min} \geq \frac{\left(\frac{bh^2}{6}\right)f_{ctk}}{0,9df_{yk}} \quad (8)$$

$$A_{s\min} \geq \frac{\left[\frac{1000 \text{ mm} \cdot (820 \text{ mm})^2}{6} \right] \cdot 2,14 \text{ N/mm}^2}{0,9 \cdot 740 \text{ mm} \cdot 500 \text{ N/mm}^2} = 720,19 \text{ mm}$$

$$A_{s\min} \geq 720,2 \text{ mm}^2 \quad \text{metrin kaistalle}$$

$$\text{eli esim. } \phi 16 \text{ k}275 \quad \Rightarrow \quad \phi 16 \text{ k}200$$

$$(A_s = 1005,3 \text{ mm}^2/\text{m})$$

Täydentävien ohjeiden mukaisesti jakoväli saa maksimissaan olla 200 mm.

3.1.1 Murtorajatilatarkastelut

Taivutus

Taivutus mitoitetaan käsin tarkastellen kentän 1 keskiosaa. Taivutustarkastelu suoritetaan Suomen Rakentamiskokoelman ohjeen B4 Betonirakenteet /10/ mukaisesti. Kyseessä on suorakaidepoikkileikkaus.

Voimasuureet saadaan liitteestä 2.

Kentän alapinnassa

$$\text{pituussuuntaan} \quad M_{d,ap\ y} = 577 \text{ kNm}$$

$$\text{poikkisuuntaan} \quad M_{d,ap\ x} = 257 \text{ kNm}$$

Kentän yläpinnassa

$$\text{pituussuuntaan} \quad M_{d,yp\ y} = 301 \text{ kNm}$$

$$\text{poikkisuuntaan} \quad M_{d,yp\ x} = 283 \text{ kNm}$$

Materiaalitiedot:

Betoni K=35 $f_{ck}=24,5 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctk}=2,14 \text{ N/mm}^2$
Teräs 500 $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$
Rakenneluokka =1

Raudoittamattomalla rakenteella

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{24,5 \text{ N/mm}^2}{2,00} = 12,25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{2,14 \text{ N/mm}^2}{2,00} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

Raudoitetulla rakenteella

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{24,5 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 18,15 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{2,14 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 1,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ N/mm}^2}{1,10} = 454,55 \text{ N/mm}^2$$

Dimensiot:

Tehollinen korkeus

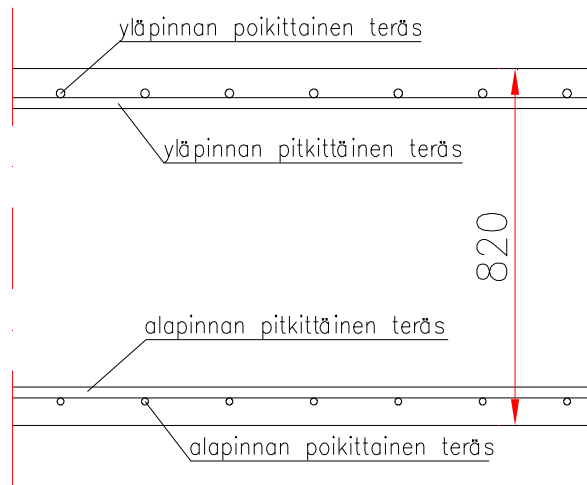
Alapinnassa: $d_{ap,x} = (820 - 35 - 12 - 16 / 2) \text{ mm} = 765 \text{ mm}$

$$d_{ap,y} = (820 - 35 - 12 - 16 - 25 / 2) \text{ mm} = 744,5 \text{ mm}$$

Yläpinnassa: $d_{yp,x} = (820 - 35 - 20 / 2) \text{ mm} = 775 \text{ mm}$

$$d_{yp,y} = (820 - 35 - 20 - 25 / 2) \text{ mm} = 752,5 \text{ mm}$$

Tutkitaan 1 metrin kaistaa, $b = 1$ m.



Kuva 22 Poikkileikkaus laatasta pituussuuntaan. Alhaalta ylös: $d_{ap,x}$, $d_{ap,y}$, $d_{yp,y}$ ja $d_{yp,x}$.

Mitoitusehto

$$M_u \leq M_d$$

Momenttikapasiteetti M_u saadaan kaavasta

$$M_u = A_s f_{yd} z \quad (9)$$

missä $z = d(1 - \frac{\beta}{2})$, sisäinen momenttivarsi

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}, \text{ tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus.}$$

Suhteellinen momentti μ ei saa olla suurempi kuin $\mu_b = 0,358$ käytettäessä terästä A500HW. μ_b on tasapainoraidoitettun poikkileikkauksen suhteellinen momentti.

$$\mu = \frac{M_d}{f_{cd} b d^2} \leq 0,358 \quad (10)$$

Vaadittava rauditus saadaan kääntämällä kaava 9 muotoon

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} z}$$

Mitoitetaan ensin alapuolen poikittaisraudoitus.

$$\begin{aligned}\mu_{ap,x} &= \frac{M_{d,ap,x}}{f_{cd} b d_{ap,x}^2} = \frac{0,257 \text{ MNm}}{18,15 \text{ MN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot (0,765 \text{ m})^2} \\ &= 0,0242 \leq \mu_b = 0,358\end{aligned}$$

$$\beta_{ap,x} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{ap,x}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0242} = 0,0245$$

$$z_{ap,x} = d_{ap,x} \left(1 - \frac{\beta_{ap,x}}{2}\right) = 0,765 \text{ m} \cdot \left(1 - \frac{0,0245}{2}\right) = 0,756 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{M_{d,ap,x}}{f_{yd} z_{ap,x}} = \frac{0,257 \cdot 10^9 \text{ Nmm}}{454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot 756 \text{ mm}}, \text{ (metrille)} \\ &= 747,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kokeillaan terästä $\phi 20$. Raudoitustankojen jako on tällöin

$$k = b / \left(\frac{A_s}{\pi r^2}\right) = 1000 \text{ mm} / \frac{745,9 \text{ mm}^2}{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2} = 421 \text{ mm} \quad (11)$$

Kokeillaan pienemmällä teräksellä $\phi 16$.

$$k = 1000 \text{ mm} / \frac{745,9 \text{ mm}^2}{\pi \cdot (8 \text{ mm})^2} = 270 \text{ mm}$$

Koska laatta on 820 mm paksu, tulee raudituksen halkaisijan olla vähintään 16 mm ja suurin sallittu tankojako on 200 mm. /8, s.53/

Valitaan ϕ 16 k200.

Alapuolen pitkittäisraudoitus

$$\mu_{ap,y} = \frac{M_{d,ap,y}}{f_{cd} b d_{ap,y}^2} = \frac{0,577 \text{ MNm}}{18,15 \text{ MN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot (0,745 \text{ m})^2}$$
$$= 0,0573 \leq \mu_b = 0,358$$

$$\beta_{ap,y} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{ap,y}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0573} = 0,0590$$

$$z_{ap,y} = d_{ap,y} \left(1 - \frac{\beta_{ap,y}}{2}\right) = 0,745 \text{ m} \cdot \left(1 - \frac{0,0590}{2}\right) = 0,723 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M_{d,ap,y}}{f_{yd} z_{ap,y}} = \frac{0,577 \cdot 10^9 \text{ Nmm}}{454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot 723 \text{ mm}} \text{ , (metrille)}$$
$$= 1755,7 \text{ mm}^2$$

Kokeillaan terästä ϕ 25. Raudoitustankojen jako on tällöin

$$k = b / \left(\frac{A_s}{\pi r^2}\right) = 1000 \text{ mm} / \frac{1755,7 \text{ mm}^2}{\pi \cdot (12,5 \text{ mm})^2} = 280 \text{ mm}$$

Valitaan ϕ 25 k200.

Yläpinnan poikittäisraudoitus

$$\mu_{yp,x} = \frac{0,283 \text{ MNm}}{18,15 \text{ MN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot (0,775 \text{ m})^2}$$
$$= 0,0260 \leq \mu_b = 0,358$$

$$\beta_{yp,x} = 0,0263$$

$$z_{yp,x}=0,765\text{ m}$$

$$A_s = \frac{M_{d,yp,x}}{f_{yd} z_{yp,x}} = \frac{0,283 \cdot 10^9 \text{ Nmm}}{454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot 765 \text{ mm}} \quad ,(\text{metrille})$$
$$=813,8 \text{ mm}^2$$

Kokeillaan $\phi 16$.

$$k = b / \left(\frac{A_s}{\pi r^2} \right) = 1000 \text{ mm} / \frac{813,8 \text{ mm}^2}{\pi \cdot (8 \text{ mm})^2} = 247 \text{ mm}$$

Valitaan $\phi 16$ k200.

Yläpinnan pitkittäisraudoitus

$$\mu_{yp,y} = \frac{0,301 \text{ MNm}}{18,15 \text{ MN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot (0,753 \text{ m})^2}$$
$$=0,0292 \leq \mu_b = 0,358$$

$$\beta_{yp,y} = 0,0296$$

$$z_{yp,y} = 0,742 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{M_{d,yp,y}}{f_{yd} z_{yp,y}} = \frac{0,301 \cdot 10^9 \text{ Nmm}}{454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot 742 \text{ mm}} \quad ,(\text{metrille})$$
$$=892,4 \text{ mm}^2$$

Kokeillaan $\phi 16$.

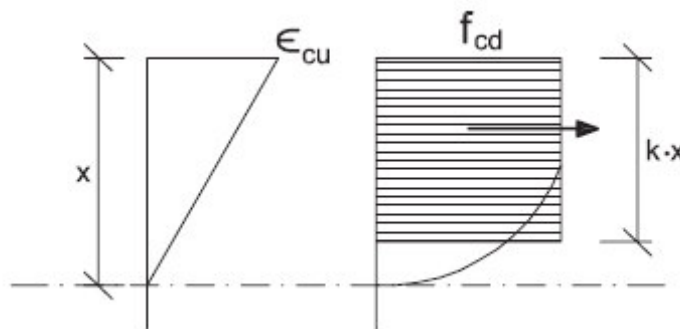
$$k = b / \left(\frac{A_s}{\pi r^2} \right) = 1000 \text{ mm} / \frac{892,4 \text{ mm}^2}{\pi \cdot (8 \text{ mm})^2} = 225 \text{ mm}$$

Valitaan $\phi 16$ k200.

Betonin puristusjännitys jakauman jakautumiskuvion (kuva 23) korkeus voidaan laskea kaavalla

$$kx \quad (12)$$

missä $k = \frac{\epsilon_{cu} - 0,7 \cdot 10^{-3}}{\epsilon_{cu}} \leq 0,8$



Kuva 23 Betonin jännitys jakaumat /10, s 16/.

Rakennetta ei saa yliraudoittaa - eli jännityksen vetorausoituksessa on oltava vähintään myödessä ennen kuin betonin puristuspuoli murtuu jotta vältetään hauraan murtuman vaara. Mitoituksessa tarkastettiin, että kaavan 10 mukaisesti ei suhteellinen momentti ylitä tasapainorausoitettun rakenteen suhteellista momenttia μ_b . Tasapainorausoitettu rakenne on normaaliraudoitettun ja yliraudoitettun rakenteen rajalla. Kun suhteellinen momentti jää selvästi alle arvon μ_b , ei ole vaaraa yliraudoitettusta rakenteesta.

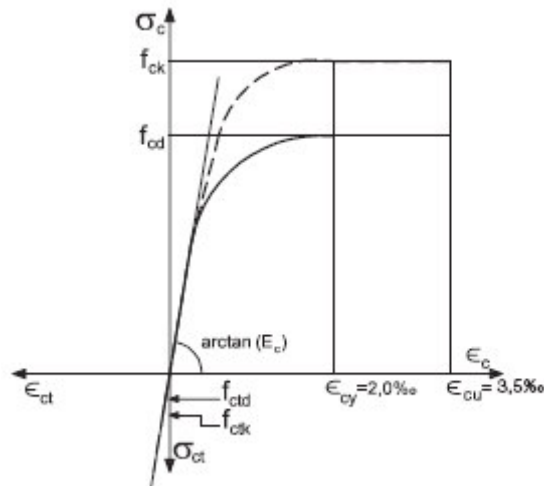
Betonin puristuman on oltava poikkileikkauksen /10, s. 16/

- painopisteessä

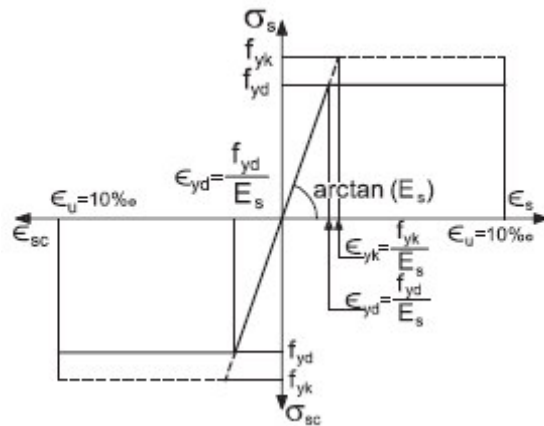
$$\epsilon_c = (0,50 + \frac{\rho_c}{1600})\text{‰} \leq 2,0 \text{ ‰}$$

- reunalla

$$\epsilon_c = (1,1 + \frac{\rho_c}{1000})\text{‰} \leq 2,0 \text{ ‰}$$



Kuva 24 Betonin jännitysmuodonmuutoskuvio /10, s. 11/.



Kuva 25 Betoniteräksen jännitys-muodonmuutoskuvio /10, s. 13/.

Leikkaus

Leikkaus mitoitetaan käsin tarkastellen välituen kahdesta keskimmäisestä pilari-tuesta toista. Leikkaustarkastelu suoritetaan Suomen Rakentamiskokoelman ohjeen B4 Betonirakenteet mukaan huomioiden Tiehallinnon Betonirakenneohjeissa ja Sil-lansuunnittelun täydentävissä ohjeissa esitetyt täydennykset. Kyseessä on suora-kaidepoikkileikkaus, jota tarkastellaan metrin levyisenä alueena. Leikkausvoiman maksimiarvona pidetään arvoa, joka on laskettu etäisyyden d päässä tuen reunasta.

/2; 8; 10/

Voimasuure saadaan liitteestä 2.

$$V_d = 0,987 \text{ MN}$$

Materiaalitiedot samoin kuin kohdassa Taivutus eli

Betoni K=35 $f_{ck}=24,5 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctk}=2,14 \text{ N/mm}^2$
Teräs 500 $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$
Rakenneluokka =1

Raudoittamattomalla rakenteella

$$f_{cd} = 12,25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

ja raudoitetulla rakenteella

$$f_{cd} = 18,15 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 454,55 \text{ N/mm}^2 .$$

Dimensiot:

Tehollinen korkeus

$$d = (820 - 35 - 12 - 16 - 25 / 2) \text{ mm} = 744,5 \text{ mm}$$

Määrävinä leveytenä käytetään $b_w = 1,000 \text{ m}$

Vetoraudoitukseksi kannelle tulee taivutuskestävyyden tarkastelun jälkeen vähintään $\phi 20 \text{ k}200$, eli $A_s = 1570,8 \text{ mm}^2/\text{m}$.

Leikkausradoittamaton rakenne

Leikkausradoittamattoman rakenteen kapasiteetin perusarvo lasketaan kaavasta /10, s. 17/

$$V_{c0} = 0,3k(1 + 50\rho)f_{ctd}b_w d \quad (13)$$

missä
$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \leq 0,02$$

$$k = 1,6 - d[\text{m}] \geq 0,8, \text{ kun kyseessä on tavallinen betoni. /2, s.18/}$$

A_s on vetorautoitus

Suhteelliseksi raudoituspinta-alaksi saadaan

$$\rho = \frac{1570,8 \text{ mm}^2}{(744,5 \cdot 1000) \text{ mm}^2} = 0,002110 \leq 0,02$$

Koska $\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$,

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,7445 = 0,8555$$

Leikkauskapasiteetti saadaan kaavasta 13

$$\begin{aligned} V_{c0} &= 0,3 \cdot 0,8555 \cdot (1 + 50 \cdot 0,002110) \cdot 1,59 \text{ MN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 0,7445 \text{ m} \\ &= 0,3359 \text{ MN} \end{aligned}$$

Alueilla, joilla leikkausvoima jää pienemmäksi leikkausradoittamattoman rakenteen kapasiteettia $V_{c0} = 0,3359 \text{ MN}$, ei tarvita leikkausraudoitusta.

Leikkausraudoitettu rakenne

Leikkausraudoitetun rakenteen kapasiteetin perusarvo lasketaan kaavasta /10, s.17/

$$V_u = V_s + V_c \quad (14)$$

Kapasiteetti leikkausraudoitetun rakenteen betonille lasketaan kaavasta /2, s.18/

$$\begin{aligned} V_c &= 0,80 \cdot 0,50 b_w df_{ctd} \quad (15) \\ &= 0,80 \cdot 0,50 \cdot 1,0\text{m} \cdot 0,7445\text{m} \cdot 1,59\text{MN/m}^2 = 0,4735\text{MN} \end{aligned}$$

Vähimmäisraudoitus

Tiehallinnon Betonirakenneohjeen 2000 mukaan:

Kohtiin, joissa ylitetään leikkausraudoittamattoman rakenteen kapasiteetti, sijoitetaan hakoja, joiden vähimmäismäärät saadaan kaavasta

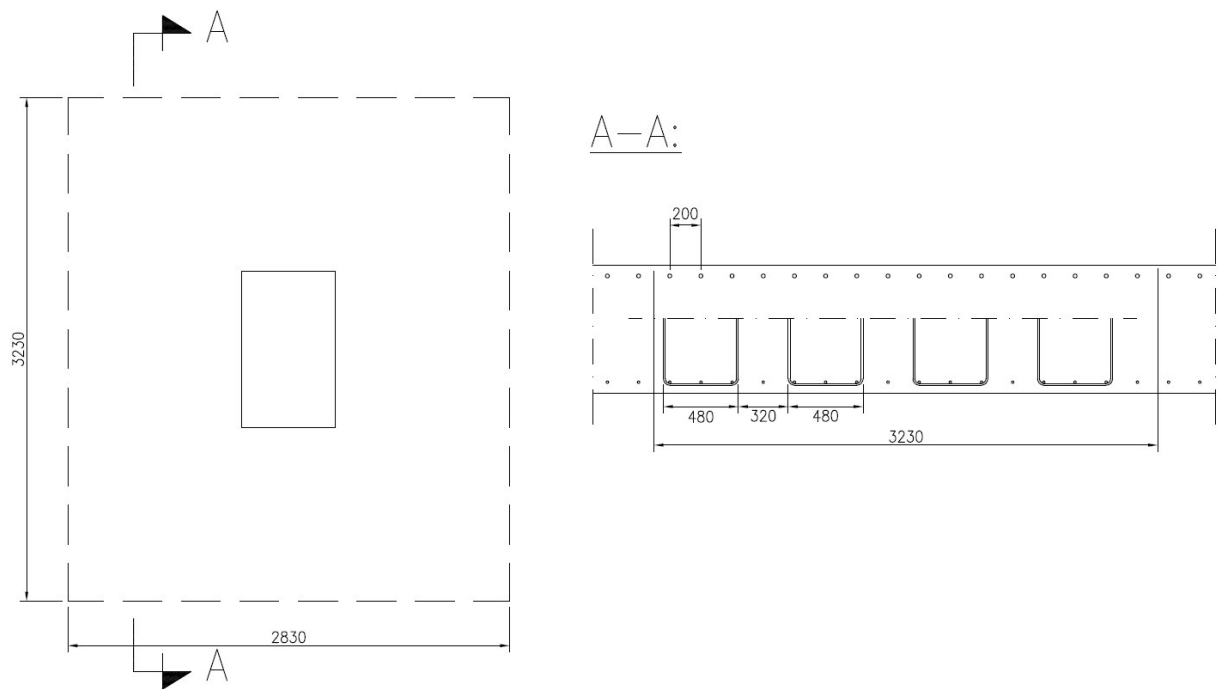
$$\frac{A_{sv}}{A_c} = 0,25 \frac{f_{ctk}}{f_{yk}} \sin \alpha \quad (16)$$

missä A_c = uuman vaakaleikkauksen pinta-ala
 α = leikkausraudoituksen kaltevuus ohjeen B4 kuvan 2.11 mukaan.

Kenttäraudoitus on ankkuroitava vapaille tuille vähintään ohjeen B4 kohdassa 2.5.1.2 ilmoitetulle voimalle $k_a V_d$. Kaikille tuille viedään vähintään 50 % murtotilan vaatimasta kenttäraudoituksesta. /2, s.24/

Lasketaan minimihaat 1 m^2 :n alueelle. Kaavasta 16 saadaan johdettua

$$\begin{aligned} A_{sv,\min} &= 0,25 \left(\frac{f_{ctk}}{f_{yk}} \right) \sin \alpha \cdot A_c \\ &= 0,25 \cdot \left(\frac{2,14\text{MN/m}^2}{500\text{MN/m}^2} \right) \cdot \sin 90^\circ \cdot 1000000 \text{ mm}^2 \\ &= 1070 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Kuva 26 Vasemmalla alue, jolta pilarin leikkaushaoitus voidaan laskea. Oikealla haat kyseisellä alueella.

Lasketaan minimihakojen $\phi 12$ mm jakoetäisyys määräävälle leveydelle b_w . Kuvan 26 mukaisesti

$$n = \frac{8 \text{ kpl}}{3,23 \text{ m}} \approx 2,5 \text{ kpl/m}$$

$$\Rightarrow s = b_w / \left(\frac{A_{sv, \min}}{\pi^2 \cdot 2,5} \right) = 1000 \text{ mm} / \left(\frac{1070 \text{ mm}^2}{\pi (6 \text{ mm})^2 \cdot 2,5} \right) = 264 \text{ mm}$$

Valitaan haoitukseksi $\phi 12$, $n=2,5$, $s=250$ mm, jolloin

$$\begin{aligned} A_{sv} &= \left(\frac{b_w}{s} + 1 \right) n A_s = \left(\frac{1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} + 1 \right) \cdot 2,5 \cdot \pi (6 \text{ mm})^2 \\ &= 1414 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Haoituksen kapasiteetti lasketaan kaavalla /10, s. 17/

$$V_s = 0,9 f_{yd} \frac{A_{sv}}{s_{1m}} d \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (17)$$

missä A_{sv} = leikkausraudoituksen leikkeiden yhteenlaskettu poikkileikkausala.

Saadaan kapasiteetiksi

$$\begin{aligned} V_s &= 0,9 \cdot 454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{1414 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}} \cdot 744,5 \text{ mm} \cdot (\sin 90^\circ + \cos 90^\circ) \\ &= 0,431 \text{ MN} \end{aligned}$$

Leikkaushaات

Lasketaan haat mitoittavalle, d :n päässä tuelta olevalle leikkausvoimalle

$V_d = 0,987 \text{ MN}$. Haat ovat $\phi 12$, $n=2,5$.

Leikkausraudoitetun betonin kapasiteetti ottaa osan leikkauksesta.

$$\Rightarrow V_{s,vaad} = V_d - V_c = 0,987 \text{ MN} - 0,4735 \text{ MN} = 0,5135 \text{ MN}$$

Vaadittava rauditus

Koska haat jaetaan likimain tasaisesti, voidaan raudoituksen kapasiteetti laskea kaavalla 17.

Näin ollen saadaan

$$\begin{aligned}\frac{A_{sv,vaad}}{s} &= \frac{V_{s,vaad}}{0,9 f_{yd} d \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)} \\ &= \frac{0,5135 \cdot 10^6 \text{ N}}{0,9 \cdot 454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot 745 \text{ mm} \cdot (\sin 90^\circ + \cos 90^\circ)} \\ &= 1,685 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Tällöin haoilla $\phi 12$, $n=2,5$ saadaan

$$s = \frac{A_{sv}}{A_{sv,vaad}} = \frac{2,5 \cdot \pi (6 \text{ mm})^2}{1,685 \text{ mm}^2/\text{mm}} = 168 \text{ mm}$$

Valitaan leikkaushaoiksi $2,5 \phi 12$ k150/m.

Leikkauskapasiteetiksi saadaan kaavan 17 mukaan

$$\begin{aligned}V_s &= 0,9 \cdot 454,55 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{(\pi 6^2) \text{ mm}^2 \cdot 2,5}{150 \text{ mm}} \cdot 745 \text{ mm} \cdot (\sin 90^\circ + \cos 90^\circ) \\ &= 0,574 \text{ MN}\end{aligned}$$

Tarkistetaan vielä, että rakenteen leikkauskapasiteetti ei ylitä ylärajaa, joka laske-
taan kaavasta /10, s. 17/

$$V_{u \max} = k b_w df_{cd} \quad (18)$$

missä $k = 0,25$, koska käytetään ylöspäin taivutettuja tankoja.

$$\begin{aligned}V_{u \max} &= k b_w df_{cd} = 0,25 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 0,7445 \text{ m} \cdot 18,15 \text{ MN/m}^2 \\ &= 3,378 \text{ MN}\end{aligned}$$

Rakenteen leikkauskapasiteetiksi saadaan kaavan 14 mukaisesti

$$V_u = V_s + V_c = 0,574 \text{ MN} + 0,4735 \text{ MN} = 1,05 \text{ MN}$$

$$V_u = 1,05 \text{ MN} \leq V_{u \max} = 3,378 \text{ MN} \Rightarrow \text{OK}$$

Muiden kohtien leikkaustarkastelu on tehty käyttäen A-Insinöörit Oy:n omaa Excel-ohjelmalla tehtyä laskentapohjaa. Tarkastelut on tehty tukilinjoittain, tarvittaessa sekä keskeltä että reunoilta. Tulosteet ovat liitteessä 3.

Lävistys

Mitoitetaan lävistys käsin tarkastellen välituen kahdesta keskimmäisestä pilarituesta toista. Lävistystarkastelu suoritetaan Suomen Rakentamiskokoelman ohjeen B4 Betonirakenteet mukaan huomioiden Tiehallinnon Betonirakenneohjeissa ja Sillansuunnittelun täydentävissä ohjeissa esitetyt täydennykset. /8; 10/

Koska tarkastelussa voidaan jättää huomioimatta etäisyyden d päässä tuelta olevat kuormat, saadaan mitoittavaksi tekijäksi pilarin tukireaktio ja sitä vastaava momentti. Voimasuureet saadaan alusrakenteita laskettaessa tehdystä Excel-taulukosta (liite 8).

$$V_d = 3,917 \text{ MN}$$

$$M_{d,vast} = 0,234 \text{ MNm}$$

Materiaalitiedot samoin kuin kohdassa Taivutus eli

$$\text{Betoni K=35} \quad f_{ck} = 24,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctk} = 2,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Teräs 500} \quad f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Rakenneluokka = 1

Raudoittamattomalla rakenteella

$$f_{cd} = 12,25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

ja raudoitetulla rakenteella

$$f_{cd} = 18,15 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 454,55 \text{ N/mm}^2$$

Samoin tehollinen korkeus on kuten kohdassa Leikkaus, $d = 0,7445 \text{ m}$.

Leikkausraudoittamaton betoni

Laatan betonin lävistyskapasiteetti lasketaan kaavasta /10, s. 19/

$$V_c = k\beta(1 + 50\rho)udf_{ctd} \quad (19)$$

missä $k = 1,6 - d[\text{m}] \geq 0,8$, kun kyseessä on tavallinen betoni. /2, s.18/

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 8\text{‰}$$

ρ_x ja ρ_y ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa etäisyydellä $0,5d$ tuen reunasta sijaitsevista poikkileikkauksissa olevat suhteelliset teräspinta-alat. Vedetyn pinnan raudoitusten tulee olla ankkuroitu mainittujen poikkileikkausten ulkopuolelle.

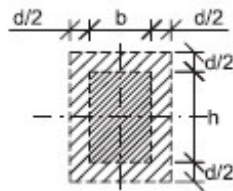
$$\beta = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5e}{\sqrt{A_u}}}$$

e on lävistysvoiman epäkeskisyys laskettuna leikkautuvan alueen painopisteestä.

A_u ja u ovat tuen reunasta etäisyydellä $0,5d$ olevan leikkauksen rajoittama pinta-ala sekä piiri.” /10, s.19/

Pilari on suorakaide. Kuvan 27 mukaisesti saadaan piiri kaavasta

$$\begin{aligned} u &= (2d + b + h) \cdot 2 \\ &= (2,0 \cdot 0,7445 \text{ m} + 0,600 \text{ m} + 1,000 \text{ m}) \cdot 2 = 6,18 \text{ m} \end{aligned} \quad (20)$$



Kuva 27 Laatan lävistys. /10, s.19/

Piirin rajoittama leikkautuva pinta-ala saadaan kaavasta

$$\begin{aligned} A_u &= (d + b) \cdot (d + h) = \\ &= (0,7445 \text{ m} + 0,600 \text{ m}) \cdot (0,7445 \text{ m} + 1,000 \text{ m}) = 2,345 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (21)$$

Epäkeskisyys

Epäkeskisyys saadaan muuttamalla kaava $M_{d,vast} = e \cdot V_d$ muotoon

$$e = \frac{M_{d,vast}}{V_d} = \frac{0,234 \text{ MNm}}{3,917 \text{ MN}} = 0,0597 \text{ m} \quad (22)$$

$$\beta = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5e}{\sqrt{A_u}}} = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5 \cdot 0,0597 \text{ m}}{\sqrt{2,345 \text{ m}^2}}} = 0,3779$$

Suhteellinen teräspinta-ala

Suhteellista teräspinta-alaa laskettaessa huomioidaan vain kokonaan vedetyllä puolella olevat teräkset eli tuilla yläpinnan teräkset. /2, s. 20/

Suhteellinen teräspinta-ala h :n suunnassa eli sillan poikkisuuntaan, kun taivutuslaskujen perusteella yläpinnassa on pääraudoitus $\phi 25$ k150, saadaan kaavasta

$$\rho_x = \frac{A_{sv}}{A_c} = \frac{\pi r^2 \cdot (b_w / k)}{b_w \cdot d} = \frac{\pi (12,5 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm})}{(744,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm})} \quad (23)$$
$$= 0,004396$$

Suhteellinen teräspinta-ala b :n suunnassa eli sillan poikkisuuntaan, kun taivutuksen edellyttämä teräsmäärä yläpinnassa on $\phi 20$ k150, on

$$\rho_y = \frac{\pi (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm})}{(744,5 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm})} = 0,002813$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 8 \text{‰}$$

$$\rho = \sqrt{0,004396 \cdot 0,002813} = 0,003517 = 3,52 \text{‰} \leq 8 \text{‰}$$

$$k = 1,6 - 0,7445 = 0,8555 \geq 0,8$$

Laatan betonin lävistyskapasiteetti

Betonin lävistyskapasiteetti saadaan laskettua kaavasta 19, eli

$$V_c = 0,8555 \cdot 0,3779 \cdot (1 + 50 \cdot 0,003517) \cdot 6,18 \text{ m} \cdot 0,7445 \text{ m} \cdot 1,59 \text{ MN/m}^2$$
$$= 2,796 \text{ MN}$$

Leikkausraudoitettu betoni

Kun betoni on leikkausraudoitettu, käytetään kertoimen k arvona $/2$, s. 20/

$$k = 1,6 - d[\text{m}] \geq 1,0 \quad (\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3) \quad (24)$$

$$k = 1,6 - 0,745 = 0,855 \leq 1,0$$

$$\Rightarrow k = 1,0$$

Laatan betonin lävistyskapasiteetti on tällöin

$$\begin{aligned} V_c &= 1,0 \cdot 0,3779 \cdot (1 + 50 \cdot 0,003517) \cdot 6,18 \text{ m} \cdot 0,7445 \text{ m} \cdot 1,59 \text{ MN/m}^2 \\ &= 3,268 \text{ MN} \end{aligned}$$

Jos käytetään leikkausraudoitusta, lasketaan lävistyskapasiteetti kaavasta /2, s. 20/

$$V_u = (0,25V_c + V_s) \leq 2V_c \quad (25)$$

missä $V_s = A_{sv} f_{yd} \sin \alpha$, $f_{yd} \leq 300 \text{ N/mm}^2$

Lasketaan vaadittava kapasiteetti raudoitukselle $V_{s,vaad}$.

$$V_{s,vaad} = V_d - 0,25V_c = 3,917 \text{ MN} - 0,25 \cdot 3,268 \text{ MN} = 3,10 \text{ MN}$$

Tällöin saadaan vaadituksi lävistysraudoitukseksi

$$A_{sv,vaad} \geq \frac{V_{s,vaad}}{f_{yd} \sin \alpha} = \frac{3,10 \cdot 10^6 \text{ N}}{300 \text{ N/mm}^2 \cdot \sin 90^\circ} \geq 10333,33 \text{ mm}^2$$

Valitaan lävistyshaoiksi $\phi 12$. Leikkeiden vähimmäismääräksi saadaan

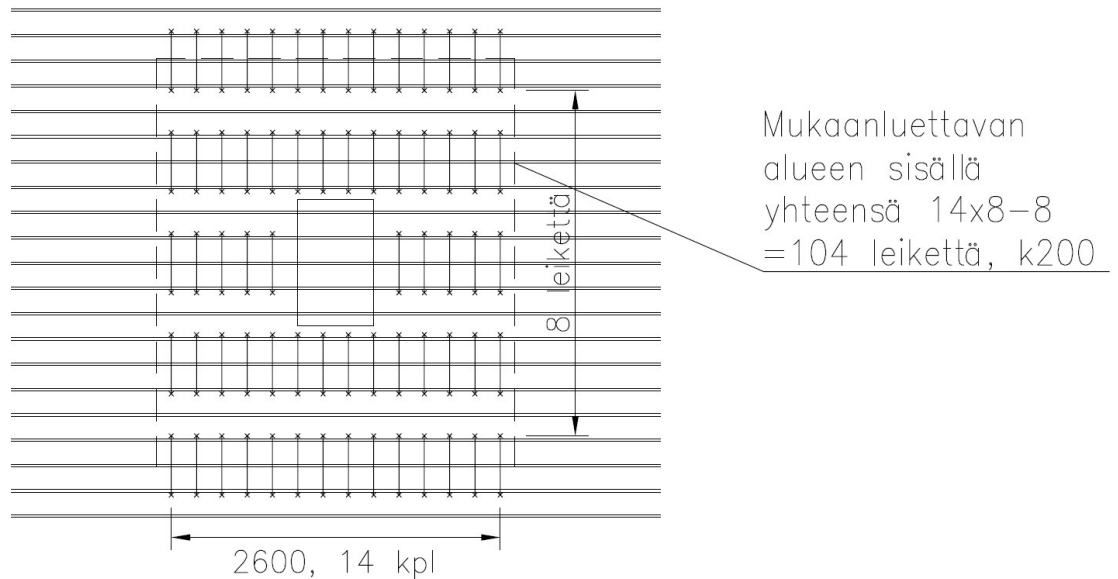
$$n \geq \frac{A_{sv,vaad}}{(A_{sv})} = \frac{10333,33 \text{ mm}^2}{113,10 \text{ mm}^2} = 91,365$$

$$n \geq 91,365 = 92 \text{ kpl}$$

Leikkeitä täytyy olla vähintään 92 kpl tasaisesti jaettuna leikkautuvalle alueelle.

Leikkausraudoituksen A_{sv} voidaan katsoa jakautuvan alueelle, joka on 1,5 d :n etäisyydellä tuen reunasta. /2/

Piirtämällä Autocad-ohjelmassa saadaan selvitettyä, millä jaolla tarvittava määrä leikkeitä mahtuu alueelle. Kokeillaan k200 (kuva 28).



Kuva 28 Pilarin ympärille mahtuu hyvin yli 92 leikettä jaolla k200.

Lävistystarkastelu on tehty välituilla sekä keski- että reunapilarien kohdalla käyttäen A-Insinöörit Oy:n omaa Excel-ohjelmalla tehtyä laskentapohjaa. Tulosteet ovat liitteessä 3.

3.1.2 Käyttörajatilatarkastelut

Halkeilu

Tiehallinnon Betonirakenneohjeen mukaan silloissa vaatimukset halkeilulle katsotaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta B4 Betonirakenteet. /2, s. 21; 10/ Vaadittavat arvot, jotka siltojen on käyttötilassa täytettävä, saadaan B4:n taulukosta 2.16. Pitkäaikaisille kuormille käytetään kohdan a) arvoja ja lyhytaikaisille kohdan b). /2, s. 21/

Halkeamaleveydet betonipeitteen miniarvolla c_{min} ovat (kuvan 29 mukaan)

- a) pitkäaikaisilla kuormilla $w_k \leq 0,20 \text{ mm}$
- b) lyhytaikaisilla kuormilla $w_k \leq 0,30 \text{ mm}$.

TAULUKKO 2.16

Vaatimukset rakenteen tiiviyyden ja halkeilun suhteen eri rasitusluokissa kun rakenteen suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. a-kohta tarkoittaa vaatimusta pitkäaikaiskuormilla ja b-kohta lyhytaikaiskuormilla. Jännittämisvaiheen vaatimuksena pidetään b-kohtaa paitsi rasitusluokissa XS 2, XS 3, XD 2 ja XD 3, joissa vaatimuksena on halkeaman muodostumisrajatila.

Rasitusluokka ¹⁾	Korroosioherkkä rauditus ²⁾	Muu rauditus
XS 2, XS 3	a) Vetojännitys- rajatila	a) $w_k \leq 0,1 \text{ mm}$
XD 2, XD 3 XF 4 XA 3	b) Vetojännitys- rajatila	b) $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$
XC 2, XC 3, XC 4	a) Vetojännitys- rajatila	a) $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$
XS1, XD 1 XF 1, XF 2, XF 3 XA 1, XA 2	b) $w_k \leq 0,1 \text{ mm}$	b) $w_k \leq 0,3 \text{ mm}$
X0, XC 1	a) $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$ b) $w_k \leq 0,3 \text{ mm}$	—

¹⁾ Rasitusluokat on määritelty standardissa SFS-EN 206-1 ja sen kansallisessa liitteessä.

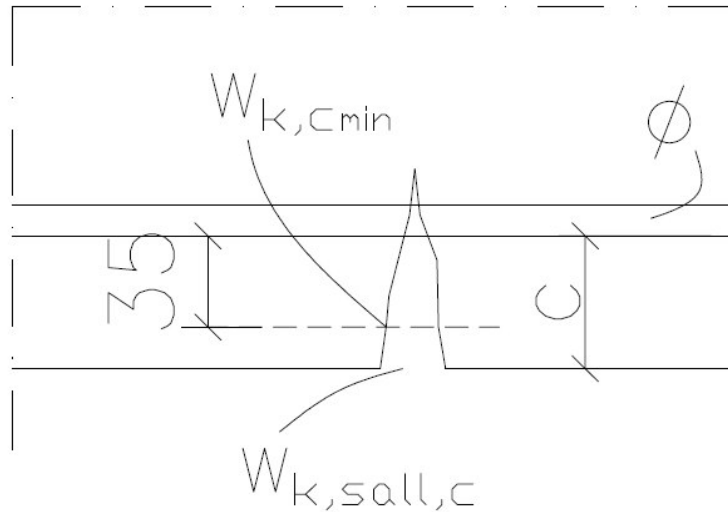
²⁾ Korroosioherkkä rauditus on määritelty kohdassa 4.1.2.1.

Kuva 29 Ohjeessa B4 Betonirakenteet esitetyt vaatimukset halkeilun suhteen /10, s.31/.

Jos betonipeite on suurempi kuin rasitusluokan ja käyttöiän vaatima arvo, voidaan vaadittua halkeamaleveyttä kasvattaa luvulla /2, s. 23; 9, s. 31/

$$\frac{c}{c_{\min}} \leq 1,5 \quad (26)$$

Sillalle nimellisarvo $c_{\min} = 35 \text{ mm}$, jolloin jos halkeilua rajoittavien terästen todellinen betonipeitteen arvo $c \geq 35 \text{ mm} \cdot 1,5 = 52,5 \text{ mm}$, ei arvoa voida suurentaa enempää kuin 1,5-kertaiseksi. /2, s. 23; 10, s. 31/



Kuva 30 Periaatekuva siitä, miksi halkeaman arvoa voidaan kasvattaa.

Betonipeite halkeilua rajoittavalle pituussuuntaiselle raudoitukselle

alapinnassa: $c_{ap,y} = (35+12+20) \text{ mm} = 67 \text{ mm}$

yläpinnassa: $c_{yp,y} = (35+12+20) \text{ mm} = 67 \text{ mm}$

ja poikittaissuuntaiselle raudoitukselle

alapinnassa: $c_{ap,x} = (35+12) \text{ mm} = 47 \text{ mm}$

yläpinnassa: $c_{yp,x} = (35+12) \text{ mm} = 47 \text{ mm}$

Sallitut halkeamaleveydet taulukossa 1 on laskettu kaavalla

$$w_{k,sall} \leq w_k \cdot \left(\frac{c}{c_{\min}} \right) \quad (27)$$

Taulukko 1 Sallitut halkeamaleveydet eri kohdissa.

	Kerroin $\frac{c}{c_{\min}}$	Pitkäaikaisilla kuormilla a) $w_{k,sall}$	Lyhytaikaisilla kuormilla b) $w_{k,sall}$
Alapinnan poikittaisteräs	1,34	0,27 mm	0,40 mm
Alapinnan pitkittäisteräs	1,5	0,30 mm	0,45 mm
Yläpinnan poikittaisteräs	1,34	0,27 mm	0,40 mm
Yläpinnan pitkittäisteräs	1,5	0,30 mm	0,45 mm

Sallittuja halkeamaleveyksiä verrataan momenttien aiheuttamaan halkeaman ominaisleveyteen w_k , joka lasketaan kaavasta /10, s.32/

$$w_k = \varepsilon_s (3,5c + k_w \frac{\phi}{\rho_r}) \leq w_{k,sall} \quad (28)$$

missä c on halkeilua rajoittavien terästen betonipeitteen vähimmäisarvo

ϕ on raudoitustangon halkaisija

$k_w = 0,085$, kun teräs on A500HW

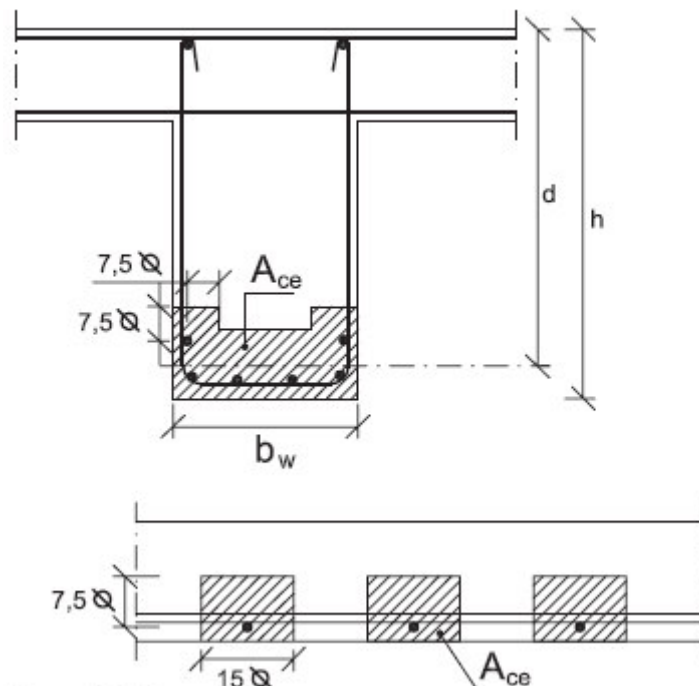
$\rho_r = \frac{A_s}{A_{ce}}$, pinta-ala A_{ce} kuvan 31 mukaisesti

$\varepsilon_s = \varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \frac{1}{25k_w} \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s}$ eli raudoituksen keskimääräinen venymä käyttötilassa, jota voidaan käyttää kun betonirakenne on halkeillut

$\sigma_s = \frac{M_d}{zA_s}$ on teräksen jännitys halkeaman kohdalla /4, s. 199/

$\sigma_{sr} = \frac{M_r}{zA_s}$ on teräksen jännitys halkeaman avautumishetkellä

haljenneessa tilassa. M_r on taivutusmomentti, jolla poikkileikkauksen halkeilukapasiteetti saavutetaan. /10, s. 30-31/



Kuva 31 Pinta-alan A_{ce} lasketaan poikkileikkauksen vetovyöhykkeen alue, jota rajoittavat $7,5\phi$ etäisyydellä yksittäisen tangon keskipisteestä olevat suorat $/10$, s. 32/.

Rauditus on taivutuksen perusteella vähintään $\phi 20$ k150. Tällöin metrin kaistalle tulee vähintään 6 kpl ja tämäkin on varmalla puolella. Laskettaessa A_{ce} (kuva 31) valitaan pienempi seuraavista leveyksistä:

$$- b_{w1} = 5,5 \cdot 2 \cdot 7,5 \cdot \phi = 1650 \text{ mm}$$

$$- b_{w2} = 1000 \text{ mm} .$$

$$b_{w2} \leq b_{w1}$$

$$\text{Valitaan} \quad b_w = b_{w2} = 1000 \text{ mm} .$$

Ensimmäinen halkeama betoniin syntyy, kun betonin vetojännitys ylittää betonin vetolujuuden. Halkeama taas aiheuttaa teräksien vetojännitykseen äkillisen lisäyksen, jonka suuruus riippuu raudoitussuhteesta. /4/

Teräksen jännitys halkeaman kohdalla /10, s. 32/ on

$$\sigma_s = \frac{M_k}{zA_s} \quad (29)$$

missä $z = d - \frac{x}{3}$ on sisäinen momenttivarsi

$$\frac{x}{d} = \alpha_e \rho \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \rho}} - 1 \right)$$

$\alpha_e \rho = \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_s}{b_w d}$ on kimmokertoimien suhteen ja raudoitussuhteen tulo.

Materiaaliominaisuudet:

Betoni K=35

$$f_{ctk} = 2,14 \text{ N/mm}^2$$

Betonin kimmokertoimena voidaan käyttää lyhytaikaisessa

$$E_c = 5000k\sqrt{K} = 5000 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} = 29580 \text{ N/mm}^2.$$

Pitkäaikaisessa huomioidaan viruman (kohta 2.2 Sillan kuormitustiedot, Pysyvät kuormat) vaikutus /2, s. 22/, jolloin

$$E_{cc} = \frac{E_c}{1 + \phi} = \frac{29580 \text{ N/mm}^2}{1 + 1,4} = 12325 \text{ N/mm}^2$$

Teräs A500HW

$$E_s = 2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2.$$

Voimasuureet M_d saadaan liitteestä 2. Keskellä kenttää 1 vedetyssä pinnassa (alapinta) on

pituussuuntaan

lyhytaikaista $M_d = M_k = 207 \text{ kNm}$

pitkäaikaista $M_k = 240,1 \text{ kNm}$

poikkisuuntaan

lyhytaikaista $M_k = 69 \text{ kNm}$

pitkäaikaista $M_k = 48,5 \text{ kNm}$.

Tarkastellaan halkeilu alapinnassa kentän 1 keskellä pituussuuntaiselle raudoitukselle. Taivutuksen edellyttämä teräsmäärä on $\phi 20 \text{ k}150$. Tehollinen korkeus

$$d = (820 - 35 - 12 - 20 - 20/2) \text{ mm} = 743 \text{ mm}$$

Määräväenä leveytenä käytetään $b_w = 1,000 \text{ m}$. Poikkileikkauksen kimmoinen taivutusvastus (voidaan ottaa koko raudoitetulta poikkileikkaukselta)

$$W_{ce} = \frac{bh^2}{6} = \frac{1000 \text{ mm} \cdot (820 \text{ mm})^2}{6} = 0,1121 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

(62)

Teräksen jännitys halkeaman kohdalla saadaan kaavasta 29

$$\sigma_s = \frac{M_k}{zA_s}$$

Lyhytaikaiselle

$$\alpha_e \rho = \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{29580 \text{ N/mm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm})}{1000 \text{ mm} \cdot 743 \text{ mm}}$$
$$= 0,0191$$

$$\frac{x}{d} = \alpha_e \rho \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \rho}} - 1 \right) = 0,0191 \left(\sqrt{1 + \frac{2}{0,0191}} - 1 \right) = 0,1773$$

$$\Rightarrow x = 0,1773d = 0,1773 \cdot 743 \text{ mm} = 132 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 743 \text{ mm} - \frac{132 \text{ mm}}{3} = 699 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_k}{zA_s} = \frac{207 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{699 \text{ mm} \cdot 2094 \text{ mm}^2} = 141,4 \text{ N/mm}^2$$

Teräksen jännitys halkeamishetkellä saadaan kaavasta /10, s. 32/

$$\sigma_{sr} = \frac{M_r}{zA_s} \quad (30)$$

$$M_r = 1,7W_{ce}f_{ctk} = 1,7 \cdot 0,1121 \cdot 10^9 \text{ mm}^3 \cdot 2,14 \text{ N/mm}^2 \\ = 407,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{407,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{699 \text{ mm} \cdot 2094 \text{ mm}^2} = 278,6 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan raudoituksen venymä ρ_r .

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \frac{1}{25k_w} \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \\ = \frac{141,4 \text{ N/mm}^2}{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2} \left[1 - \frac{1}{25 \cdot 0,085} \left(\frac{278,6 \text{ N/mm}^2}{141,4 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right] \\ = 0,000698 \\ \geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,4 \cdot \frac{141,4 \text{ N/mm}^2}{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2} = 0,000283$$

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{ce}} = \frac{2094 \text{ mm}^2}{(77 + 7,5 \cdot 20) \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm}} = 0,00922$$

Momentin aiheuttaman halkeaman ominaisleveydeksi saadaan

$$\begin{aligned} w_k &= \varepsilon_s (3,5c + k_w \frac{\phi}{\rho_r}) \\ &= 0,000698 \cdot (3,5 \cdot 35 \text{ mm} + 0,085 \cdot \frac{20 \text{ mm}}{0,00922}) \quad \text{OK} \\ &= 0,2142 \text{ mm} \leq w_{k,sall} = 0,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pitkäaikaisella kuormituksella halkeamaleveys lasketaan muuten samoin kuin lyhytaikaisella, mutta mitoittava voima $M_k = 240,1 \text{ kNm}$ ja betonin kimmokertoimenä käytetään $E_{cc} = 12325 \text{ N/mm}^2$.

$$\begin{aligned} \alpha_e \rho &= \frac{E_s}{E_{cc}} \cdot \frac{A_s}{b_w d} = \frac{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{12325 \text{ N/mm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (1000 \text{ mm} / 150 \text{ mm})}{1000 \text{ mm} \cdot 743 \text{ mm}} \\ &= 0,0457 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{x}{d} &= \alpha_e \rho \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_e \rho}} - 1 \right) = 0,0457 \left(\sqrt{1 + \frac{2}{0,0457}} - 1 \right) = 0,2601 \\ \Rightarrow \quad x &= 0,2601 d = 0,2601 \cdot 743 \text{ mm} = 193 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 743 \text{ mm} - \frac{193 \text{ mm}}{3} = 679 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_k}{z A_s} = \frac{240,1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{679 \text{ mm} \cdot 2094 \text{ mm}^2} = 168,9 \text{ N/mm}^2$$

Teräksen jännitys halkeamishetkellä (W_{ce} on sama) on kaavan 30 mukaisesti

$$\sigma_{sr} = \frac{M_r}{z A_s}$$

$$M_r = 1,7 W_{ce} f_{ctk} = 407,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{407,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{679 \text{ mm} \cdot 2094 \text{ mm}^2} = 286,8 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan raudoituksen venymä ρ_r

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \frac{1}{25k_w} \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \\ &= \frac{168,9 \text{ N/mm}^2}{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2} \left[1 - \frac{1}{25 \cdot 0,085} \left(\frac{286,8 \text{ N/mm}^2}{168,9 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right] = 0,0008362 \\ &\leq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,4 \cdot \frac{168,9 \text{ N/mm}^2}{2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2} = 0,0008445 \\ \Rightarrow \quad \varepsilon_s &= 0,0008445\end{aligned}$$

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{ce}} = 0,00922$$

Momentin aiheuttaman halkeaman ominaisleveydeksi saadaan

$$\begin{aligned}w_k &= \varepsilon_s \left(3,5c + k_w \frac{\phi}{\rho_r} \right) \\ &= 0,0008445 \cdot (3,5 \cdot 35 \text{ mm} + 0,085 \cdot \frac{20 \text{ mm}}{0,00922}) \quad \text{OK!} \\ &= 0,259 \text{ mm} \leq w_{k,sall} = 0,30 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vastaavalla tavalla tehdään halkeilutarkastelut sillan pituus- ja poikkisuunnissa sekä tuilla että kentillä. Eri raudoitusyhdistelmille on laskettu halkeamakokoa vastaava kapasiteetti. Tätä kapasiteettia verrataan voimasuuretulostuksiin (liitteet 2, 10). Alueille, joilla kapasiteetti ylittyy, on lisättävä halkeiluraudoitusta.

Taipuma

”Jos rakenteelle annetaan vähintään omanpainon aiheuttamaa taipumaa vastaava ennakkokorotus eikä taipumasta ole haittaa muille rakenteille, saa kokonaistaipuma

olla enintään $L/200$." /8, s. 30/ Päälysrakenteella liikennekuormasta aiheutuva taipuma a saa olla enintään $L/500$, missä L on jännemitta. Rakenteen jäykkyyttä laskettaessa voidaan rakenne olettaa halkeilemattomaksi. On huomattu, että jos laatan taipumat lasketaan koko poikkileikkauksella, on lopputulos silti hyvin lähellä tulosta, joka saataisiin olettamalla alapinta halkeilleeksi. /2, s. 21/ Kansilaatan ulokkeen pään taipuma saa olla $l_u/250$ (l_u = ulokkeen pituus). S10:n ulokkeen päät ovat kuitenkin niin pienet, että niiden mahdollista negatiivista taipumaa ei tässä tarkastella. /2, s. 23/

Taipumaa aiheuttaa sillan omapaino. Pysyvään kuormaan lasketaan tässä betoni, pintamateriaali ja lisäpäälyste. Koska muuttuvasta kuormasta osa saattaa olla pidempiaikaista (ts. liikennettä kulkee sillalla), lasketaan kuormaluokan I akseli-kuormasta p 30 % mukaan taivuttavaan voimaan (ks. kohta 2.2 Sillan kuormitustapaukset). Tarkastellaan siltaa metrin levyisenä kaistana.

$$g = 25,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,820 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} + 2,64 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} + 1,0 \text{ kN/m} \\ = 24,14 \text{ kN/m}$$

$$q = 9 \text{ kN/m}$$

$$g_d = 1,2 \cdot 24,14 \text{ kN/m} = 28,97 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 0,3 \cdot 9 \text{ kN/m} = 2,7 \text{ kN/m}$$

Kolmiaukkoisen jatkuvan rakenteen taipuman laskennassa tarvittavan momentti kentän keskellä voidaan laskea Rakentajain kalenterissa /7, s.66/ olevalla kaavalla

$$M_2 = (k \cdot g + k \cdot q) \cdot L_1^2 = M_K \quad (31)$$

Keskimmäisen aukon $L_2 = 14,0 \text{ m}$ suhde ensimmäiseen aukkoon $L_1 = 11,4 \text{ m}$ on $L_2/L_1 = 1,23$. Tällöin kertoimiksi saadaan $k_g = 0,07$ ja $k_q = 0,12$.

$$M_K = (0,07 \cdot 28,97 \text{ kN/m} + 0,12 \cdot 2,7 \text{ kN/m}) \cdot (11,4 \text{ m})^2 = 305,65 \text{ kNm}$$

Määritellään tehollinen taivutusjäykkyys K_{ef} . Poikkileikkaus on halkeilematon.

Lyhytaikaisessa kuormituksessa taivutusjäykkyydeksi saadaan

$$K_c = E_c I_c = 29580 \text{ MN/m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m} \cdot (0,82 \text{ m})^3}{12} = 1359,1 \text{ MNm}^2$$

Pitkäaikaisessa taivutusjäykkyydessä huomioidaan viruman vaikutus (ks. kohta 2.2: virumaluku $\phi = 1,4$). Taivutusjäykkyydeksi saadaan

$$K_{cc} = E_{cc} I_c = \frac{E_c}{1 + \phi} \cdot I_c = \frac{29580 \text{ MN/m}^2}{1 + 1,4} \cdot 0,0459... = 565,9 \text{ MNm}^2$$

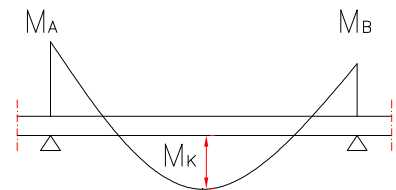
Taipuma

Lyhytaikaisista kuormista aiheutuva taipuma lasketaan kaavasta /4, s. 211 - 212/

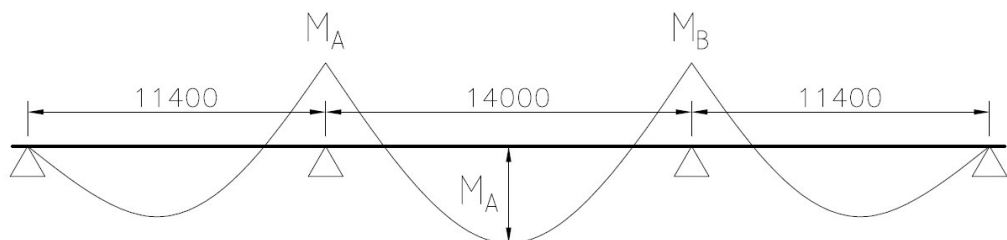
$$a_q = \delta_f \frac{M}{K_c} L^2 \quad (32)$$

joissa δ_f = taipumakerroin, joka määräytyy momenttikuviosta. Tässä

$$\delta_f = \frac{5}{48} \left(1 + \frac{M_A + M_B}{10M_K} \right)$$



M = kuormien aiheuttama suurin taivutusmomentti



Kuva 32 Momenttikuvio jatkuvalla kolmiaukkoisella palkilla.

Kuvan 32 mukaisesti $M_A \approx M_B$. Momenttien suuruus saadaan kaavasta

$$M_A = M_B = \frac{(q_d + g_d)L^2}{8} - M_K = \frac{31,67 \text{ kN/m} \cdot (14 \text{ m})^2}{8} - 305,65 \text{ kNm} \\ = 470,27 \text{ kNm}$$

Taipumakerroin on

$$\delta_f = \frac{5}{48} \left(1 + \frac{M_A + M_B}{10M_K}\right) = \frac{5}{48} \left(1 + \frac{470,27 \text{ kNm} + 470,27 \text{ kNm}}{10 \cdot 305,65 \text{ kNm}}\right) = 0,1362$$

Taipuma lyhytaikaisilla kuormilla saadaan kaavan 32 mukaisesti

$$a = \delta_f \frac{M_K}{K_c} L^2 \\ a = 0,1362 \cdot \frac{0,30565 \text{ MNm}}{1359 \text{ MNm}^2} \cdot (14,0 \text{ m})^2 = 0,0060 \text{ m}$$

Tarkistetaan että pysyvistä kuormista aiheutuva taipuma jää sallitun taipuman alle.

$$a = 0,0060 \text{ m} \leq L/200 = 14,0 \text{ m}/200 = 0,070 \text{ m}$$

Taipuma pitkäaikaisilla kuormilla lasketaan kaavalla 32 käyttäen K_c :n sijasta K_{cc} :tä.

$$a = \delta_f \frac{M_K}{K_{cc}} L^2 \\ a = 0,1362 \cdot \frac{0,30565 \text{ MNm}}{565,9 \text{ MNm}^2} \cdot (14,0 \text{ m})^2 = 0,0144 \text{ m}$$

$$a = 0,0144 \text{ m} \leq L/200 = 0,070 \text{ m}$$

OK

Tuloksesta voidaan päätellä, että taipuma omasta painosta tai liikennekuormasta ei tule määrääväksi. Liikennekuormilla tehtävä tarkastelu on tässä työssä jätetty tekemättä.

Ennakkokokohotus

Ennakkokokohotuksella pyritään kumoamaan rakenteen pysyvien kuormien aiheuttama taipuma. Optista kohotusta ei ole tarve tälle sillalle tehdä, koska se on moniaukkoinen ja alapinnaltaan viisto. /8, s. 42/

$$\text{Kenttä 1: } 3 \text{ mm} \cdot (1 + \varphi) = 3 \text{ mm} \cdot (1 + 1,4) = 7,2 \text{ mm}$$

$$\text{Kenttä 2: } 6 \text{ mm} \cdot (1 + \varphi) = 6 \text{ mm} \cdot (1 + 1,4) = 14,4 \text{ mm}$$

$$\text{Kenttä 3: } 3 \text{ mm} \cdot (1 + \varphi) = 3 \text{ mm} \cdot (1 + 1,4) = 7,2 \text{ mm}$$

Yllä olevat taipumat on saatu 3d-mallista (liite 8).

3.2 Puskulevy

Mitoitus on tehty käyttäen suunnittelutoimiston Excel-laskentapohjia (liite 4).

3.3 Siipirakenne

Mitoitus on tehty käyttäen suunnittelutoimiston Excel-laskentapohjia (liite 5).

4 TULOKSET

Työn valmistuttua on saatu siltarakenteelle yleispiirustus, mittakuvat ja raudoituskuvat siiville ja puskupalkille sekä kansirakenteelle raudoituskuva luonnosteltua (liite 1). Lisäksi rakenteesta on tehty lujuuslaskelmat joiden mukaan edellä mainitut raudoituspiirustukset on tehty (liitteet 3,4 ja 5). Työhön ei sisällytetty sillan alusrakenteiden eli pilaritukien ja niiden perustuksien mitoitusta.

Tuloksia on alustavasti verrattu vanhaan siltaan, sillä vaikka mitoitus uudessa sillassa tapahtui erilailla vanhaan nähden, pitäisi kuormien olla samaa suuruusluokkaa ja näin ollen pystyttiin vertaamaan raudoitusmääriä. Ne ovat samaa suuruusluokkaa.

5 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Mallintaminen 3d:nä osoitti, että siihen käytetty ohjelma FEM-Design ei ehkä vieläkään vastaa niin hyvin tarkoituksia, kuin olisi toivonut. Ohjelmalla on nopeampaa ja yksinkertaisempaa mallintaa kuin esim. Lusas-ohjelmalla, mutta etenkin leveissä silloissa FEMin kapasiteetti yhdistellä kuormia tuntuisi olevan turhan rajallinen.

Tämän lopputyön ollessa jo kansissa työskentely sillan kanssa jatkuu edelleen. Laatua eli pääkannattajan raudoituskuvista ei vielä tässä työssä ole tehty kuin hahmotelmat pääjaosta ja haoituksista. Raudoituskuvat on tarkoitus viimeistellä ja tehdä niistä rautaluettelot. Sillan rakennelaskelmat kootaan ja täydennetään.

LÄHTEET

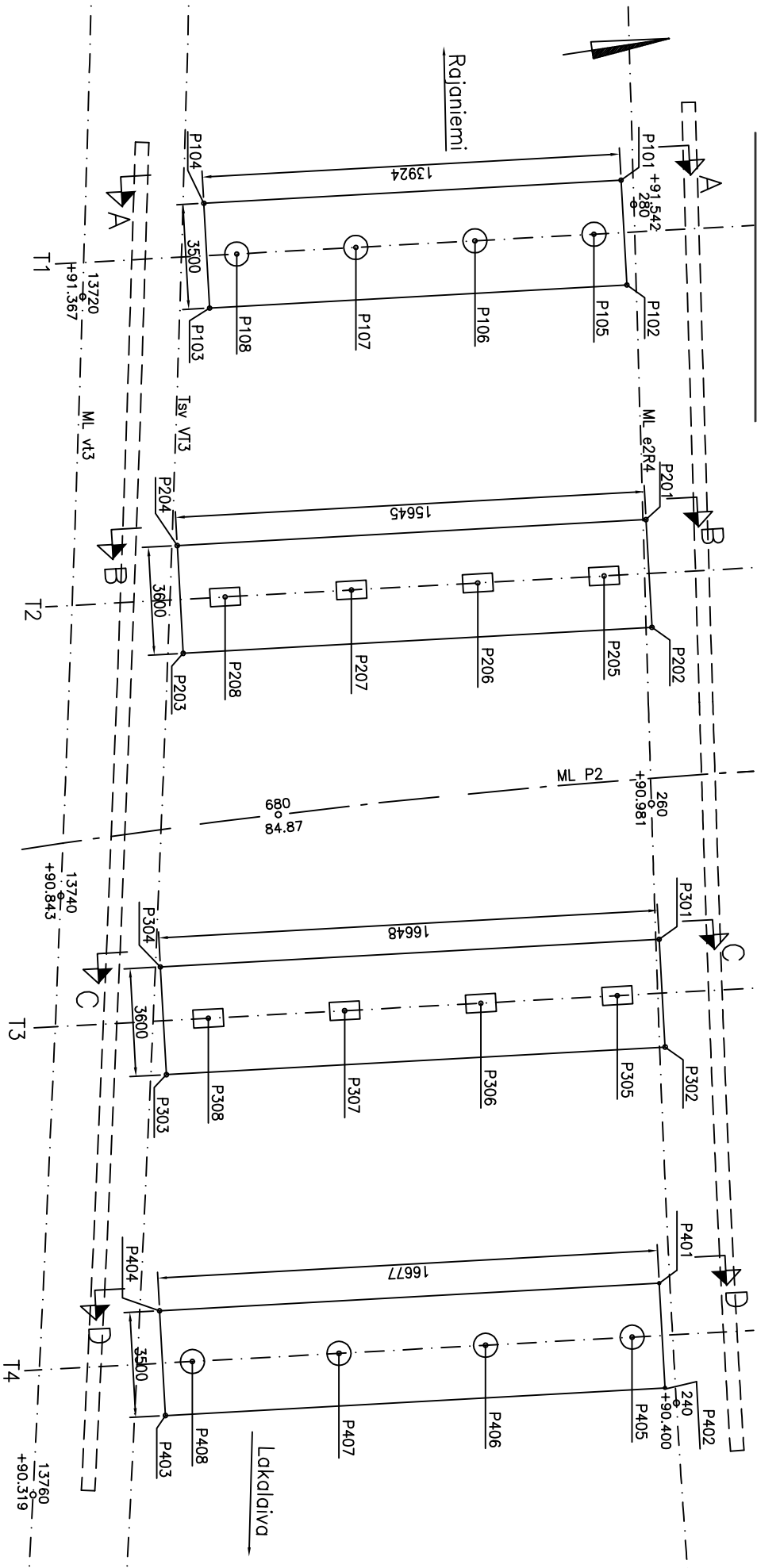
Kirjalliset lähteet

- 1 Betoninormit RIL 131-2001. RIL. 2001
- 2 Betonirakenneohjeet 2000. Tiehallinto. Helsinki 2000. 38 s.
- 3 Betoniraudotteiden suunnittelu. Tiehallinto. Helsinki 2000. 49 s.
- 4 by 202, Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja Osa 1. Suomen Betoniyhdistys ry. Jyväskylä 1986. 242 s.
- 5 Järvinen, Vesa, TkT, RTEK-3610 Sillanrakennuksen perusteet, Kurssimateriaali. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka. 30.8.2006
- 6 Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa. Tiehallinto. Helsinki 1999. 72 s.
- 7 Rakentajain kalenteri 2000 Osa 1 Käsikirja. Rakennustieto Oy. Hämeenlinna 1999. 1006 s.
- 8 Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet. Tiehallinto. Helsinki 2002. 96 s.
- 9 Siltojen kuormat. Tiehallinto. Helsinki 1999. 32 s.
- 10 Suomen rakentamismääräyskokoelma B4 Betonirakenteet, ohjeet 2005. Ympäristöministeriö. Helsinki 2004. 89 s.

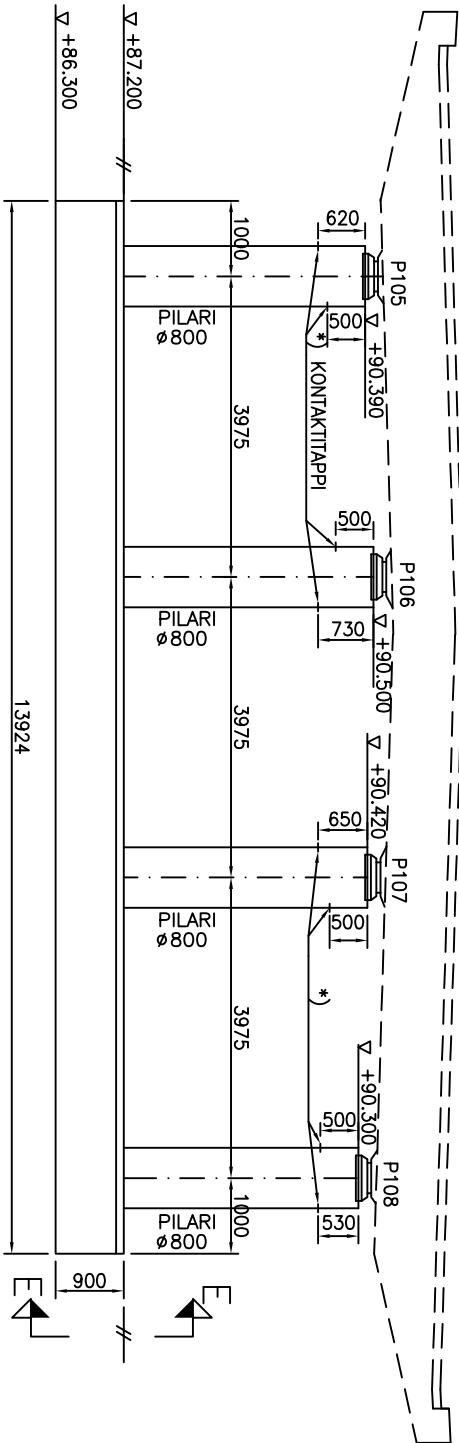
Suulliset lähteet

- 11 Laaksonen, Anssi, DI. A-Insinöörit Oy. Keskustelut 2006 - 2007.

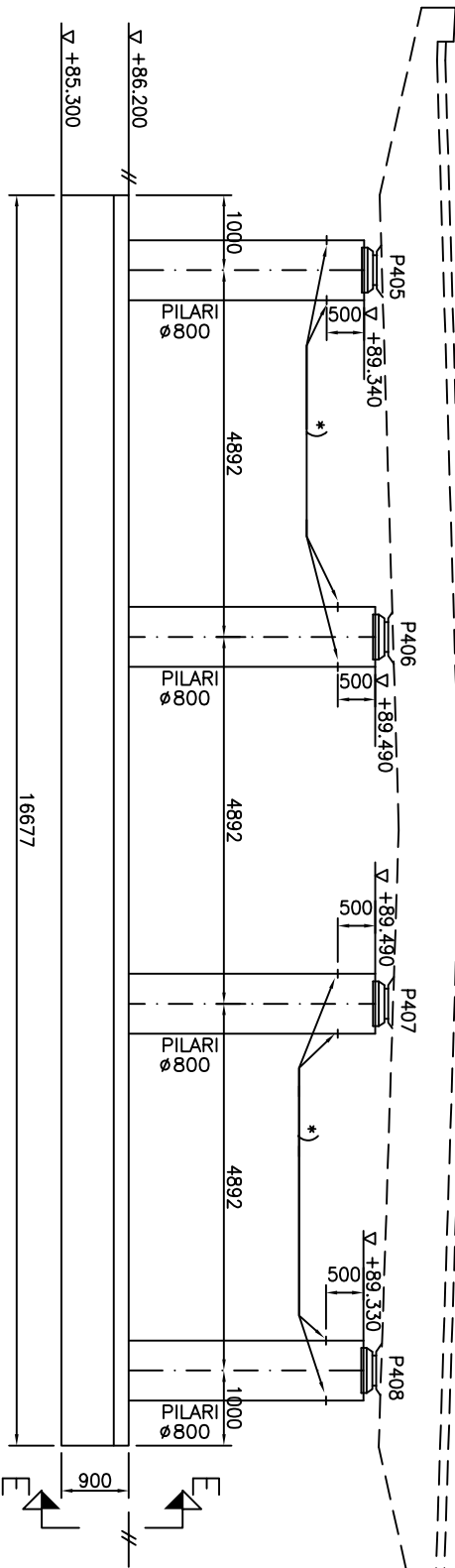
LIITTEET



A – A 1:100

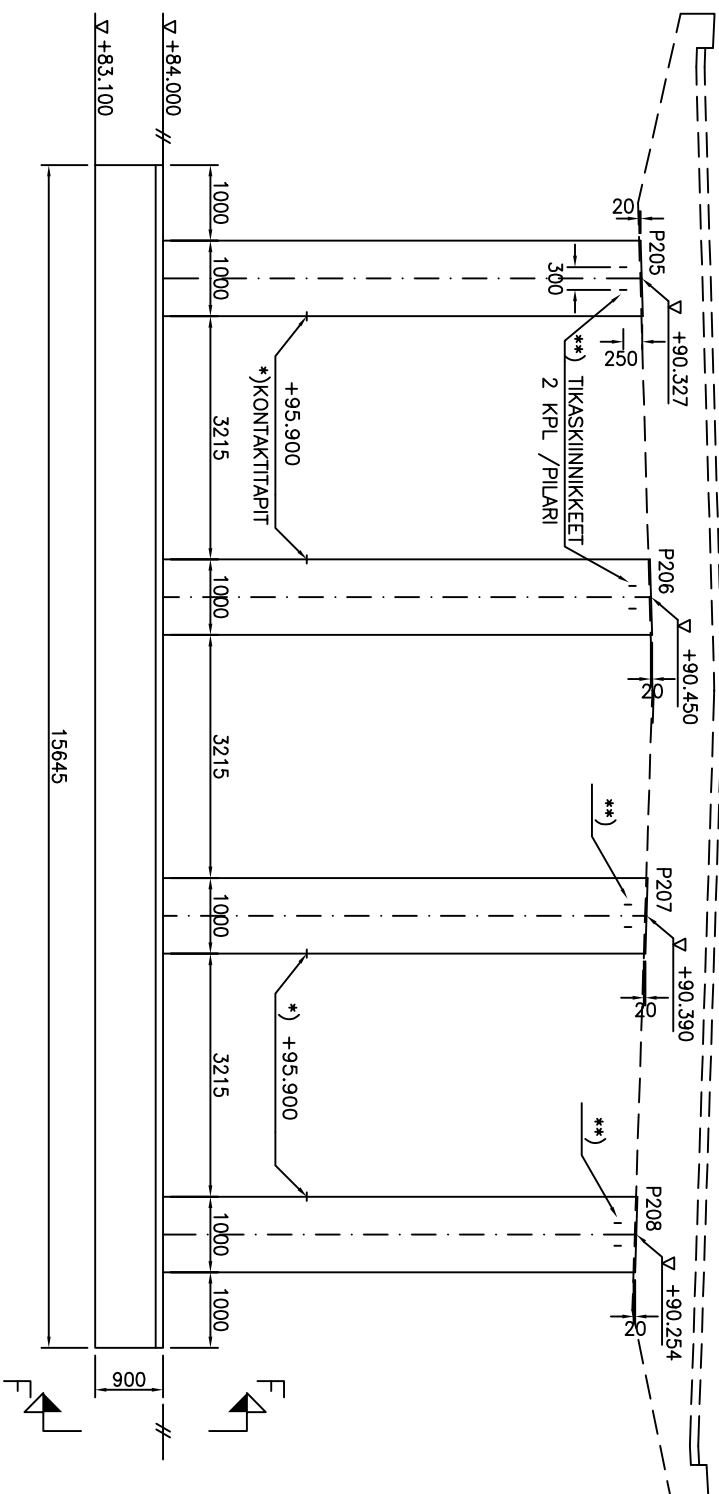


D – D 1:100



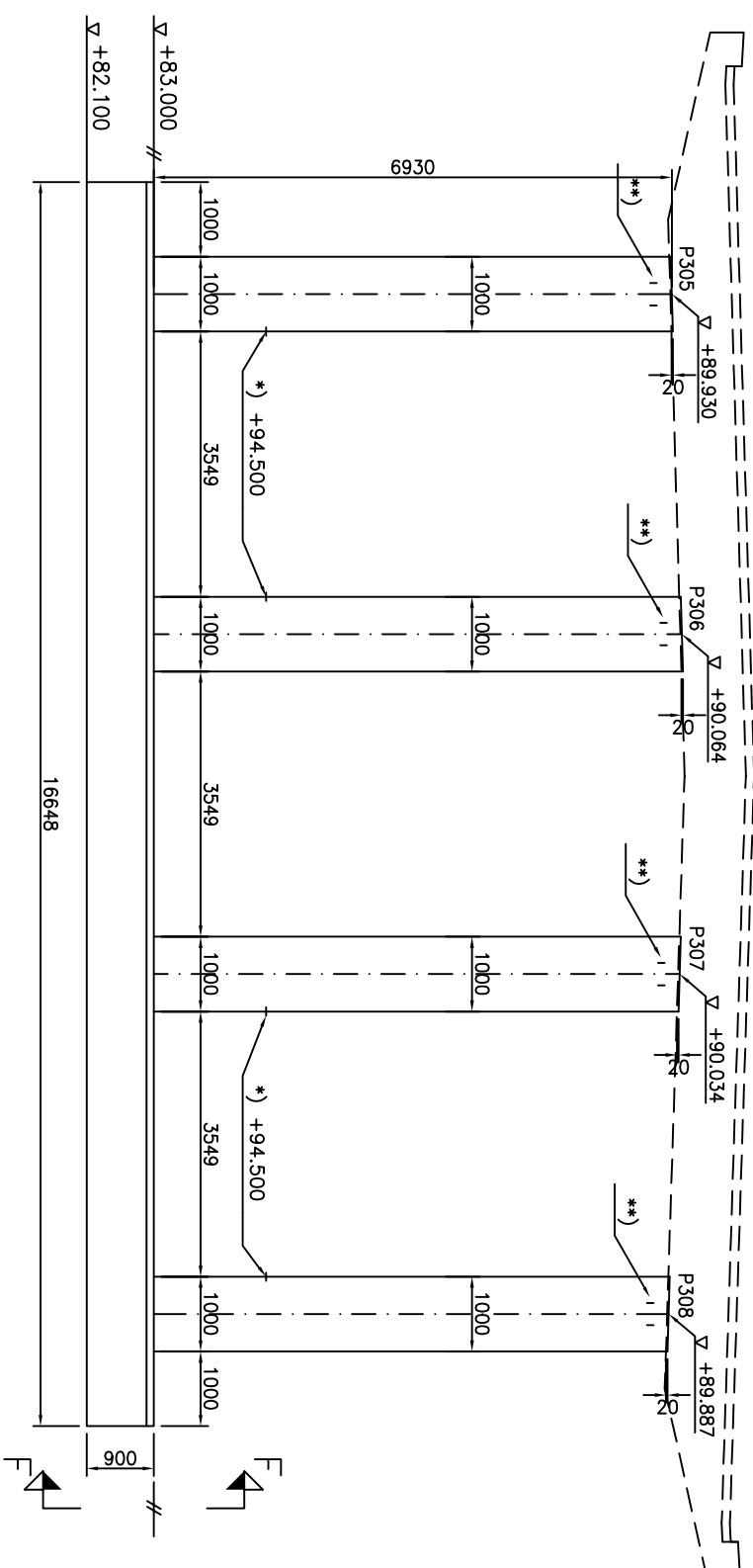
MITTAPISTEIDEN KOORDINAATIT		
PISTE	X	Y
P101	6817325.173	2485441.988
P102	6817324.850	2485445.473
P103	6817310.985	2485444.187
P104	6817311.309	2485440.702
P105	6817324.016	2485443.638
P106	6817320.058	2485443.271
P107	6817316.100	2485442.904
P108	6817312.143	2485442.537
P201	6817324.327	2485453.308
P202	6817323.995	2485456.893
P203	6817308.417	2485455.448
P204	6817308.749	2485451.864
P205	6817322.667	2485454.962
P206	6817318.470	2485454.573
P207	6817314.274	2485454.184
P208	6817310.077	2485453.795
P301	6817322.700	2485467.218
P302	6817322.367	2485470.802
P303	6817305.791	2485469.265
P304	6817306.124	2485465.680
P305	6817321.040	2485468.871
P306	6817316.510	2485468.451
P307	6817311.981	2485468.031
P308	6817307.451	2485467.611
P401	6817321.012	2485478.560
P402	6817320.689	2485482.045
P403	6817304.083	2485480.505
P404	6817304.406	2485477.020
P405	6817319.855	2485480.210
P406	6817314.983	2485479.759
P407	6817310.112	2485479.307
P408	6817305.241	2485478.855

TIKASKIINNIKKEET HITSATAAN KIINNI
PÄÄTERÄKSIIN
(TOIMIVAT MYÖS KONTAKTIPAPEINA)

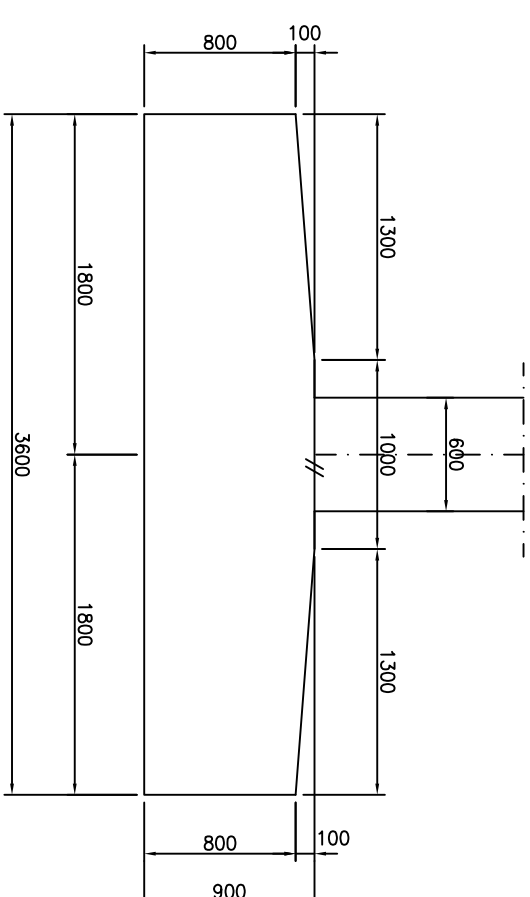


TIKASKIINNIKEET HITSATAAN KIINNI
PÄATERÄKSIIN
(TOIMIVAT MYÖS KONTAKTITAPPEINA)

C - C 1:100

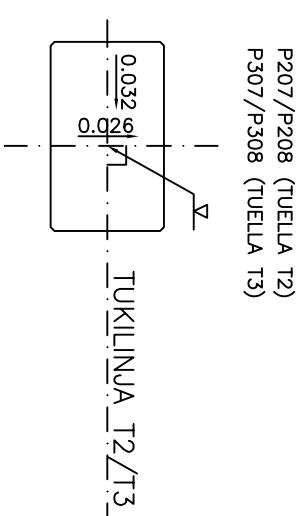
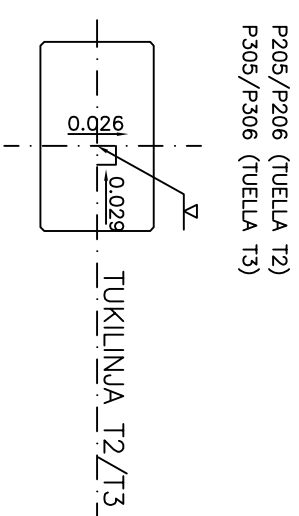


PILARIN YLÄPÄÄN KALLISTUKSET
VÄLITUILLA T2 JA T3

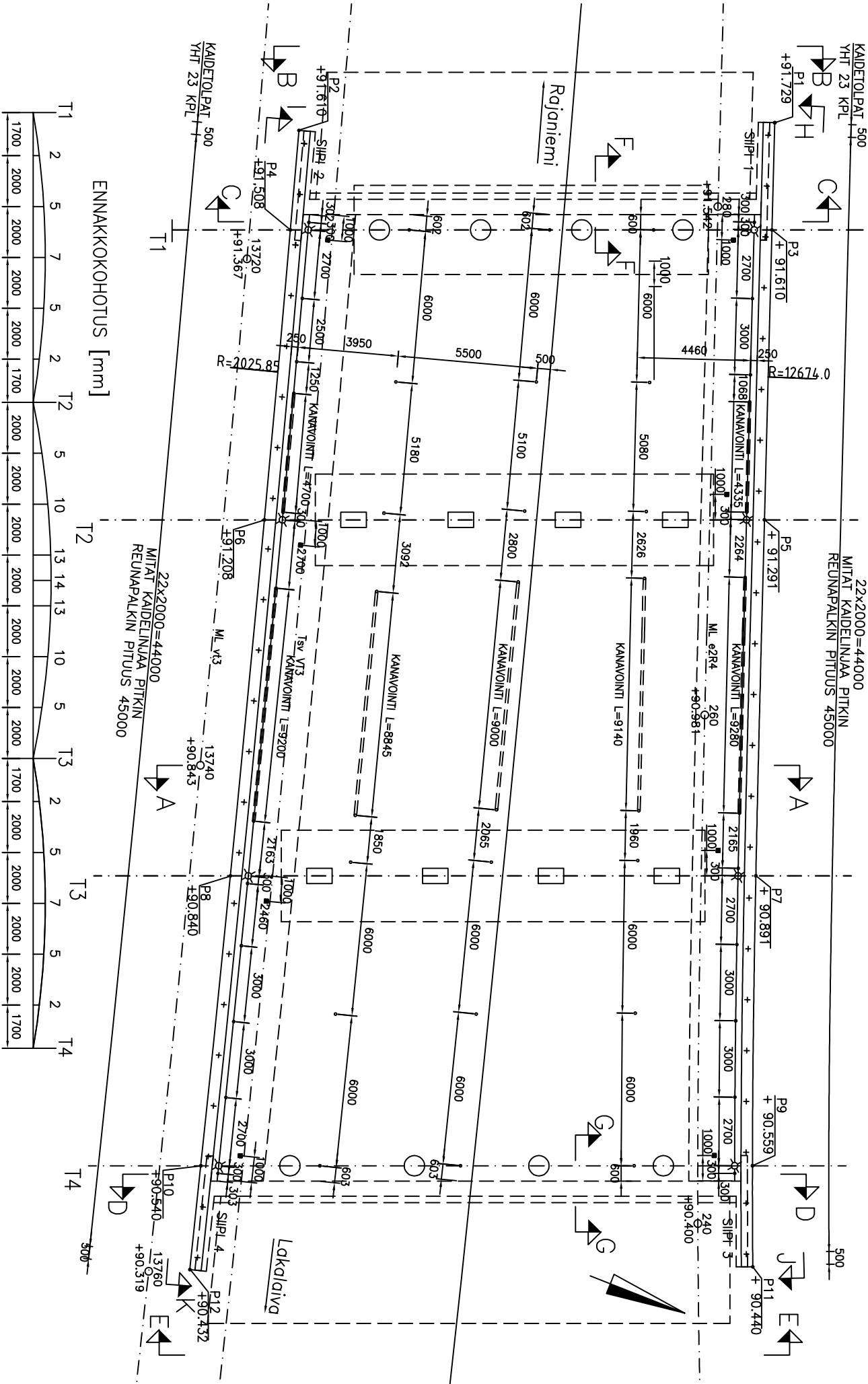


BETONI: PERUSLAATAT K30-2, P20
PILARIT (PÄÄTTYKSI) K35-1, P30
PILARIT (VÄLTIKSI) K40-1, P50

TERÄS: A500HW (ê)



IASOKUVA 1:200



LITE 1 / 4 (15)

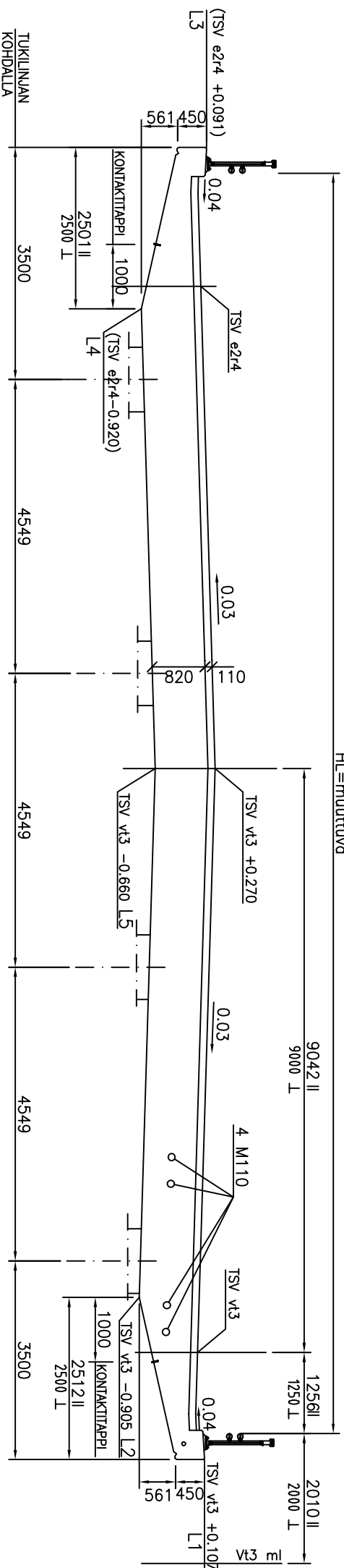
⌵	PINTAVESIPUKET	YHT. 8 KPL
•	TIPPUPUKET	YHT. 48 KPL
==	KANAVOINTI	YHT. 54,5 m
■	KONTAKTITAPIT	YHT. 18 KPL

LINJAN L3 KOORDINAATIT		
X	Y	Z
6817328.002	2485439.773	91.729
6817327.764	2485441.758	91.673
6817327.527	2485443.744	91.617
6817327.290	2485445.730	91.561
6817327.053	2485447.716	91.505
6817326.816	2485449.702	91.449
6817326.580	2485451.688	91.393
6817326.343	2485453.674	91.337
6817326.108	2485455.660	91.281
6817325.873	2485457.646	91.225
6817325.637	2485459.632	91.168
6817325.403	2485461.619	91.112
6817325.170	2485463.605	91.054
6817324.938	2485465.591	90.996
6817324.709	2485467.578	90.938
6817324.483	2485469.565	90.880
6817324.262	2485471.553	90.822
6817324.046	2485473.542	90.764
6817323.836	2485475.531	90.706
6817323.633	2485477.520	90.648
6817323.437	2485479.511	90.589
6817323.249	2485481.502	90.530
6817323.071	2485483.494	90.470
6817322.985	2485484.490	90.440

LINJAN L4 KOORDINAATIT		
X	Y	Z
6817325.082	2485443.135	90.613
6817324.845	2485445.121	90.557
6817324.608	2485447.106	90.501
6817324.371	2485449.092	90.445
6817324.135	2485451.078	90.389
6817323.898	2485453.064	90.333
6817323.663	2485455.050	90.277
6817323.427	2485457.037	90.221
6817323.192	2485459.023	90.165
6817322.958	2485461.009	90.109
6817322.724	2485462.995	90.052
6817322.492	2485464.982	89.995
6817322.263	2485466.969	89.937
6817322.036	2485468.956	89.879
6817321.814	2485470.943	89.821
6817321.597	2485472.931	89.763
6817321.386	2485474.920	89.705
6817320.182	2485476.910	89.647
6817320.984	2485478.900	89.588
6817320.794	2485480.900	89.529

$$\frac{A}{A-1}$$

HL=mutua



K35-1, P30
K40-1, P50

REUNAPALKKI, DET

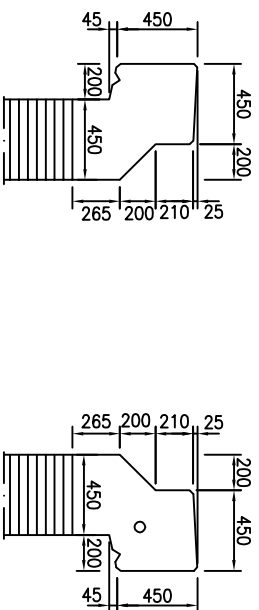
BETONİ: KANSI

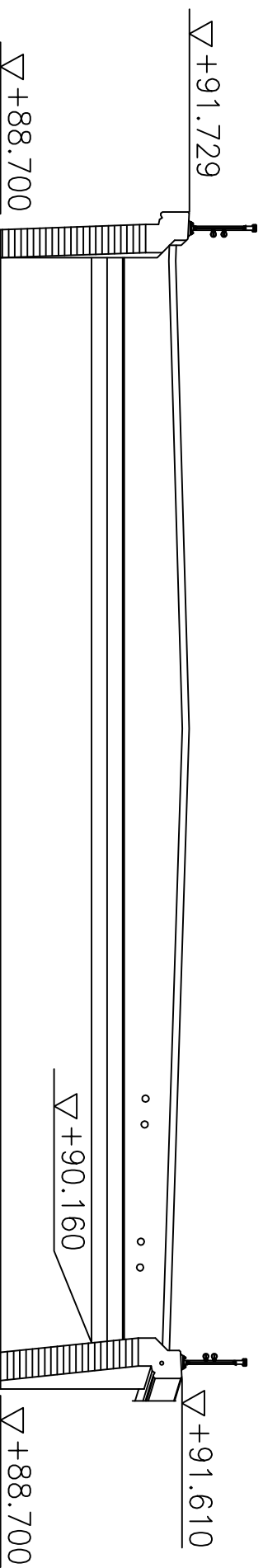
KANSI
REUNAPALKIT

TERÄS: A500HW (Ø)

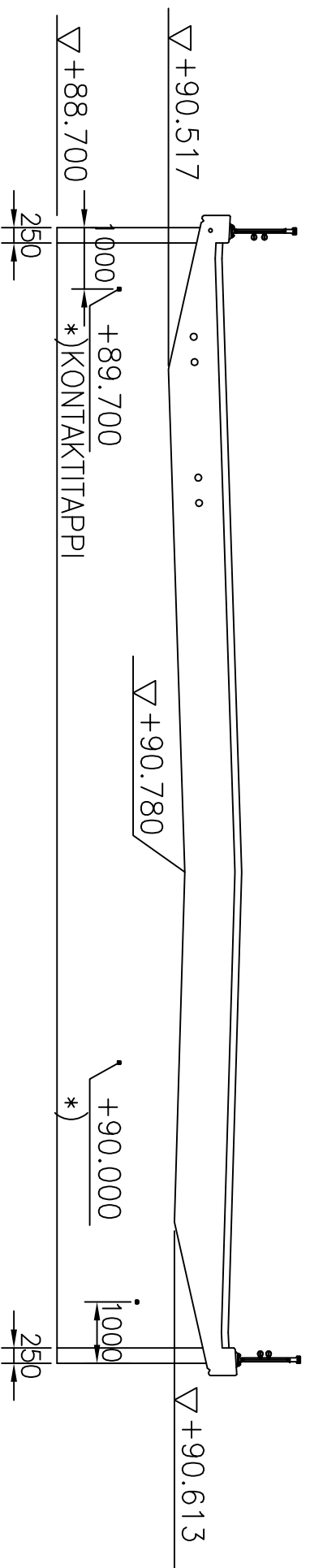
A500HW (\$\phi\$)

SUORAT JA TERAVAT KULMAT VIISTETÄÄN 20x20 mm
KOLMIONMALLA ELLEI TOISIN OLE MÄÄRÄTTY

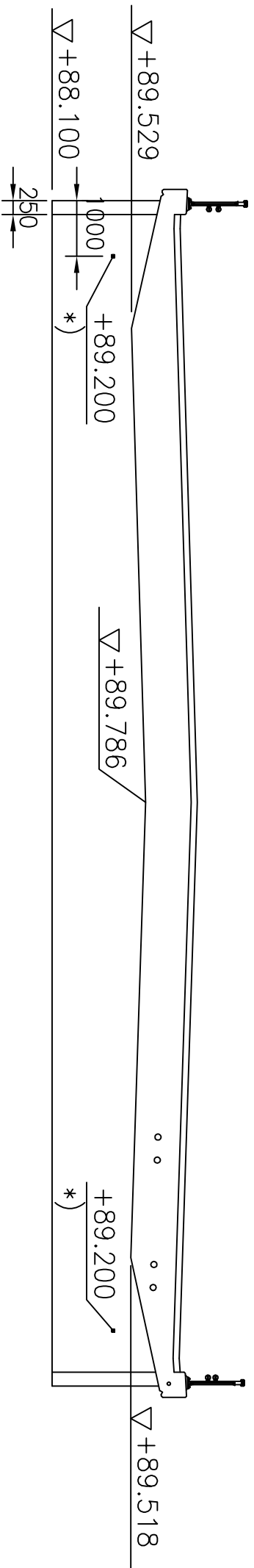


$$\frac{B - B}{1:100}$$


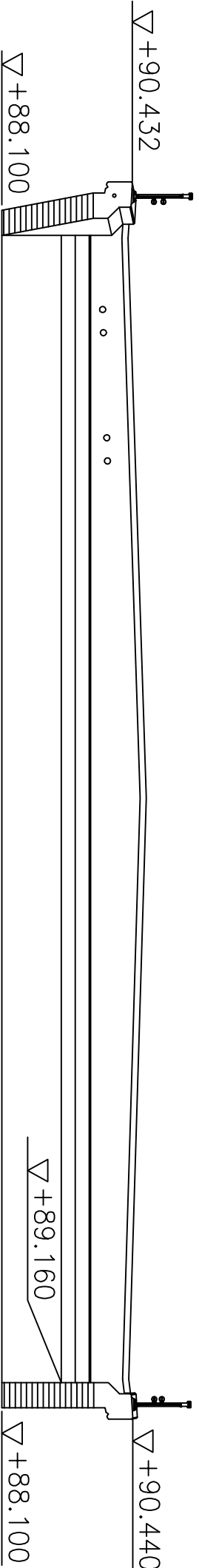
C - C 1:100



D - D 1:100

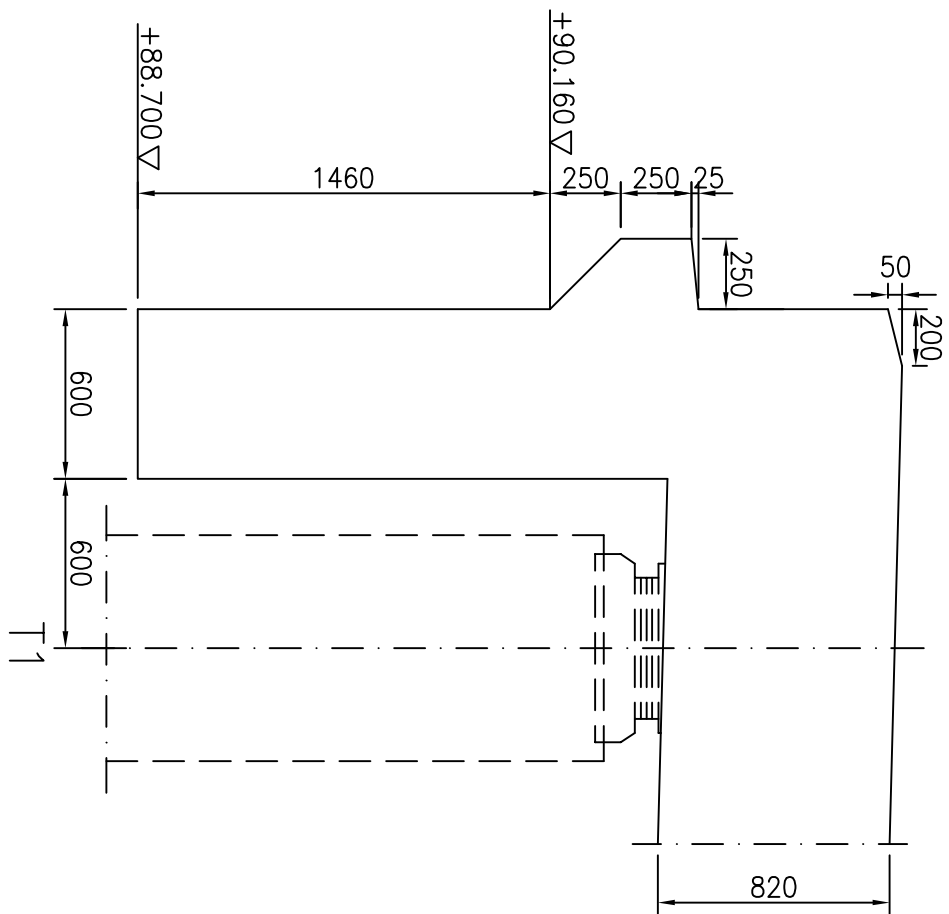


E - E 1:100

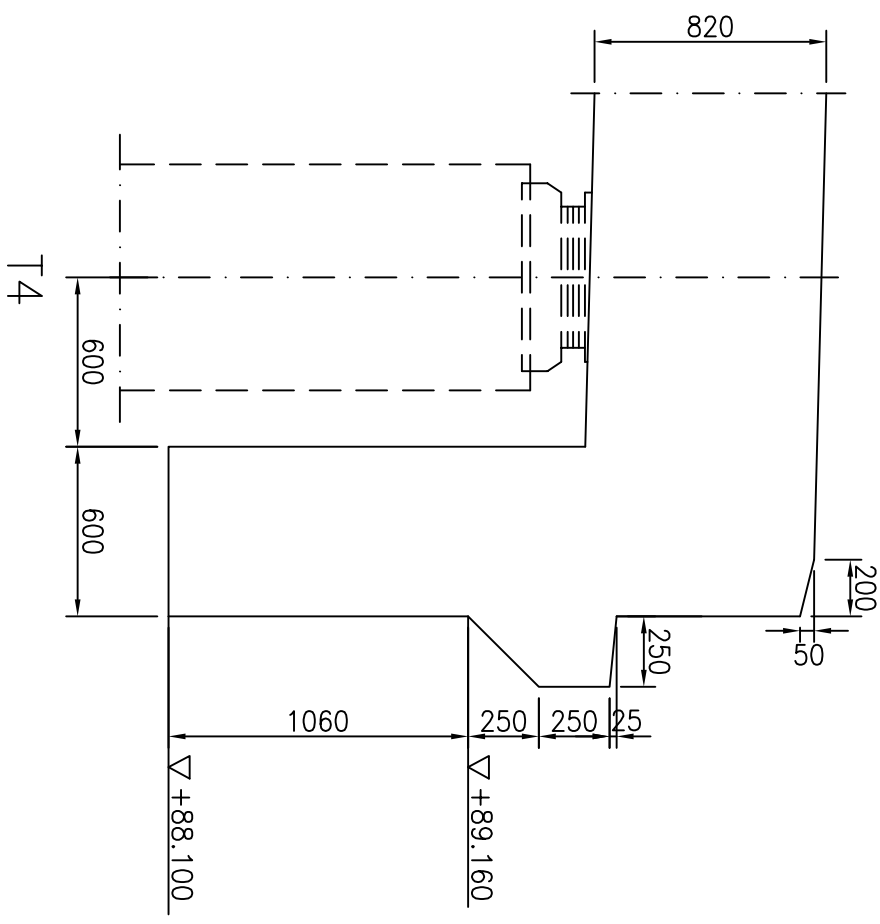


LITE 1 / 7 (15)

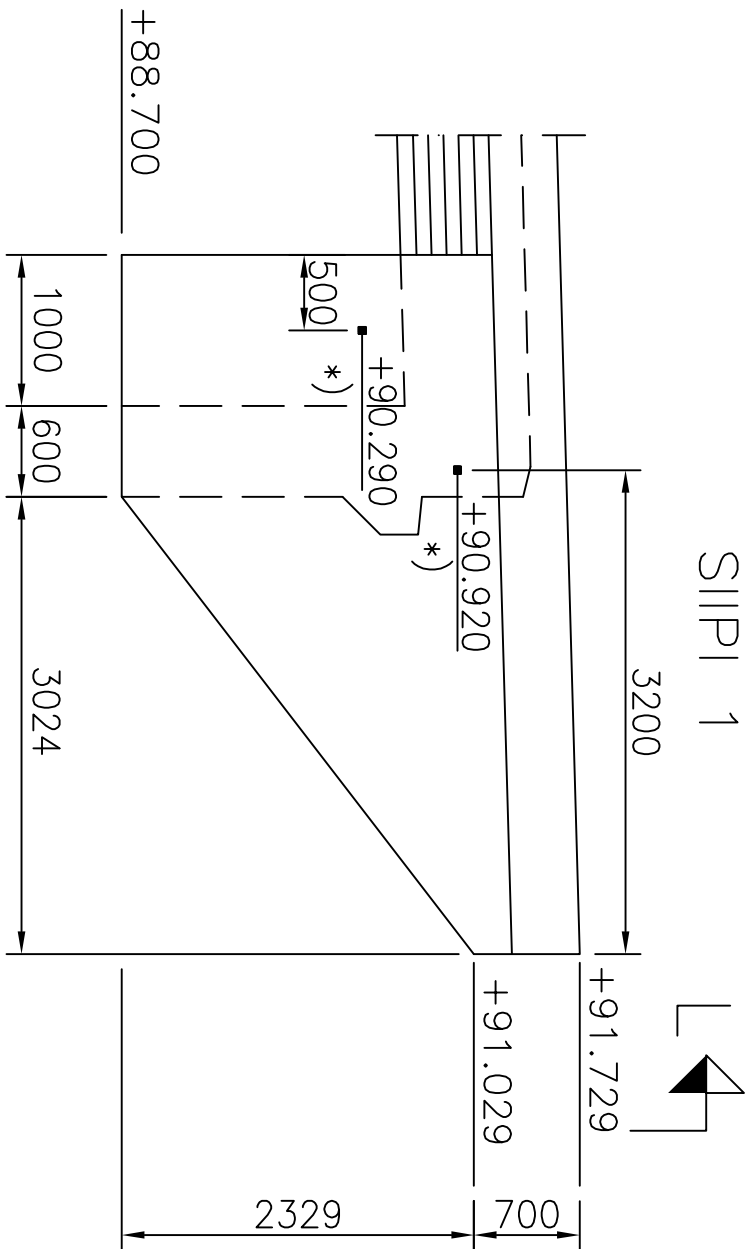
— F — F —



— G — G —

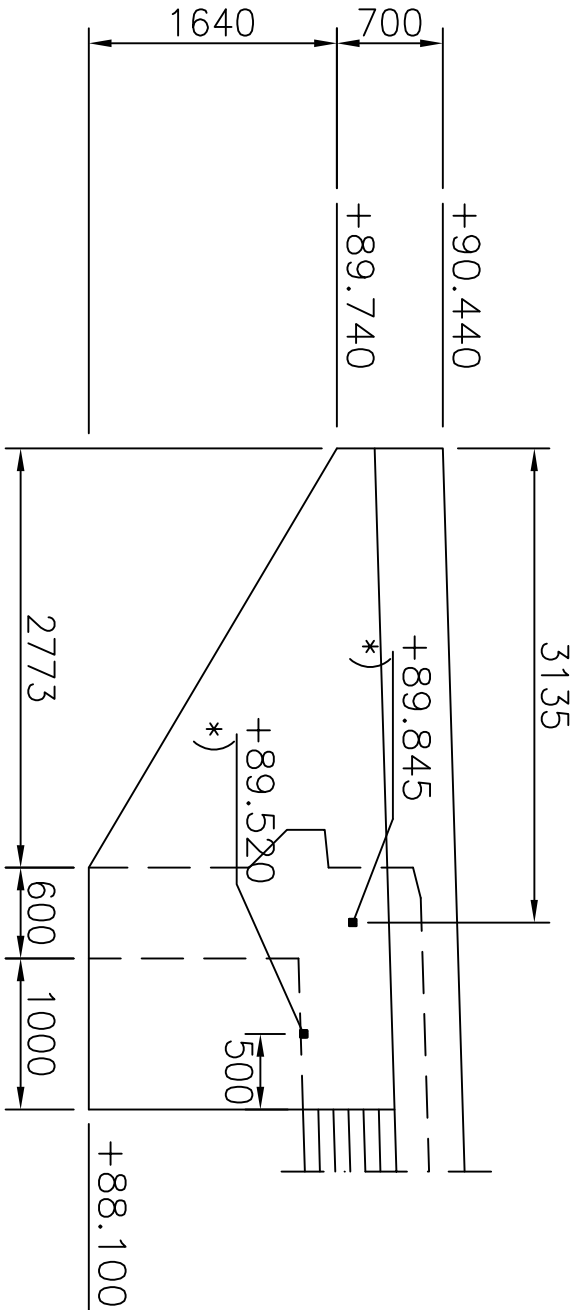


H – H 1:50



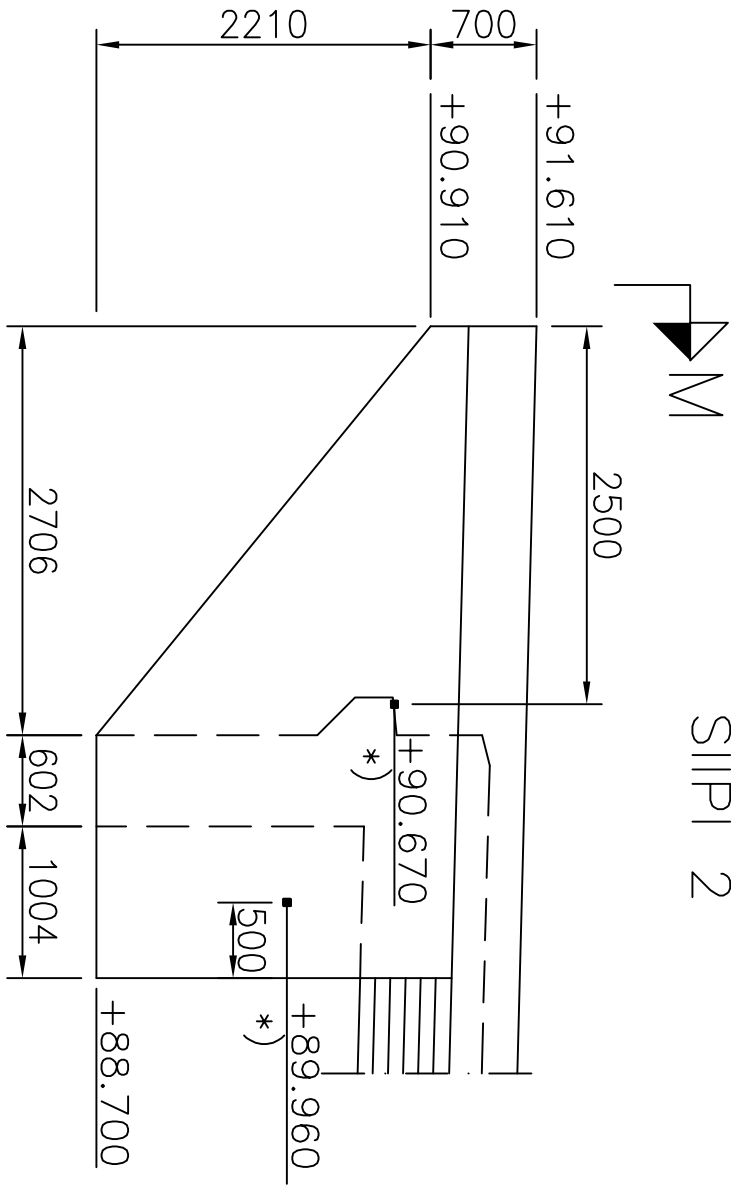
J – J 1:50 LITE 1 / 9 (15)

SIIP1 3



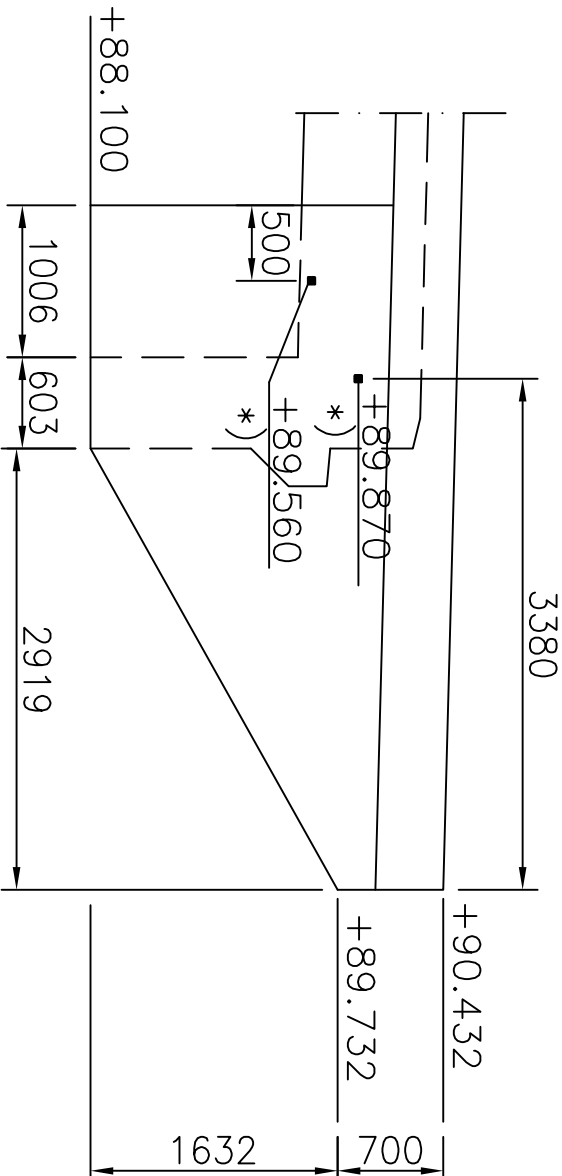
I – I 1:50

SIIP1 2



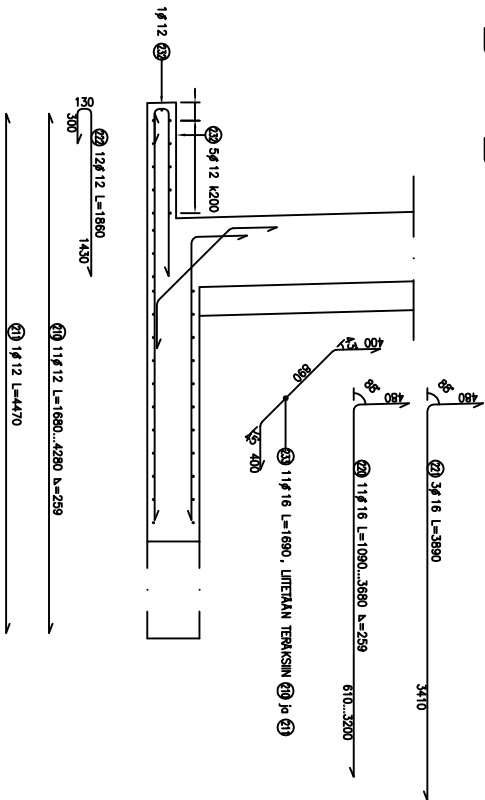
K – K 1:50

SIIP1 4

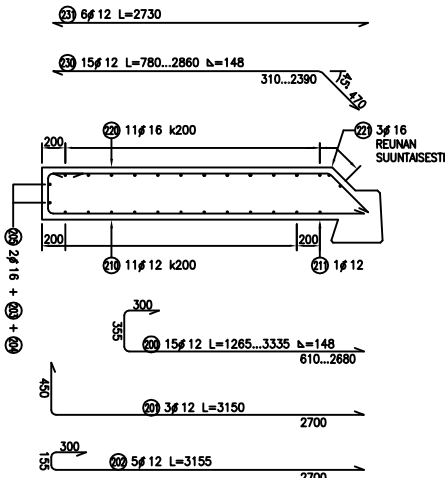
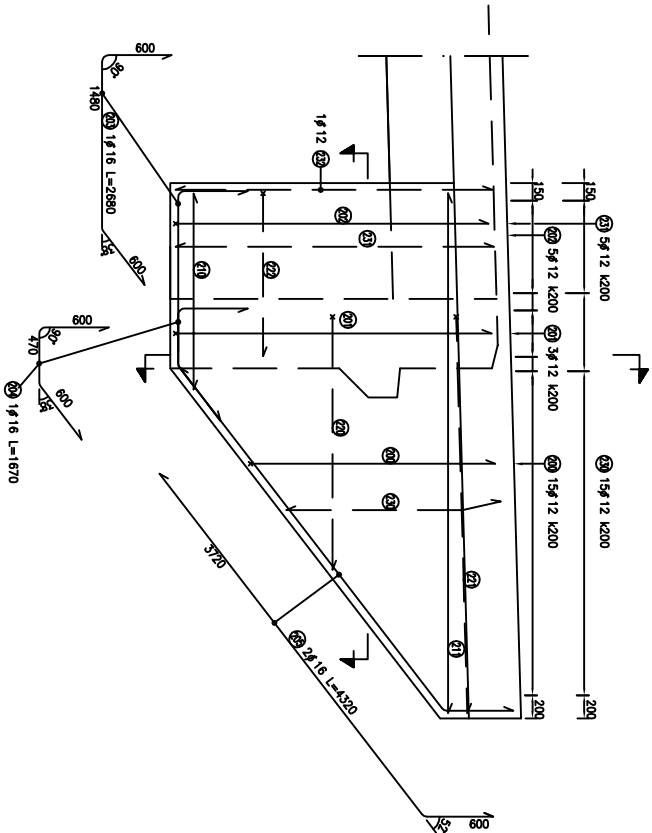


SIIPI 1, ei mittakaavaa

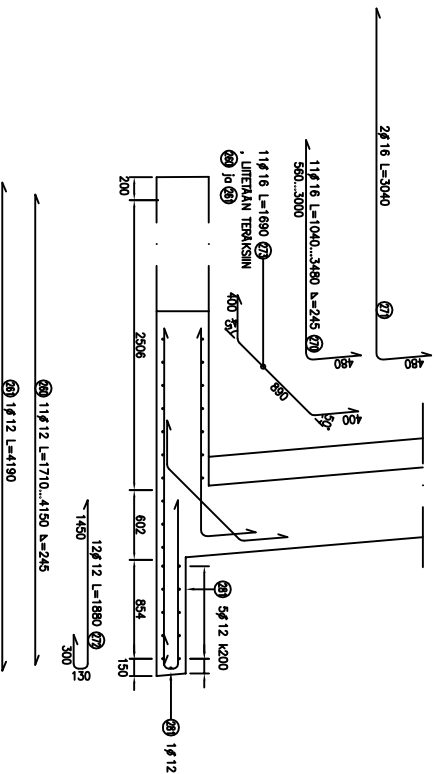
B-B



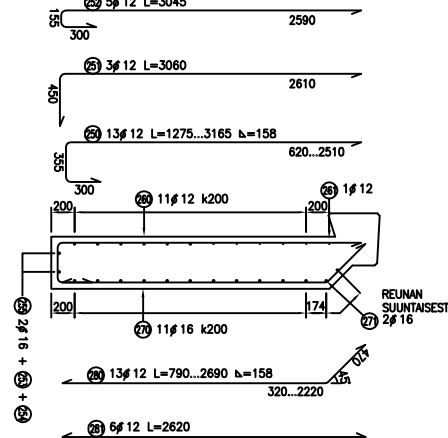
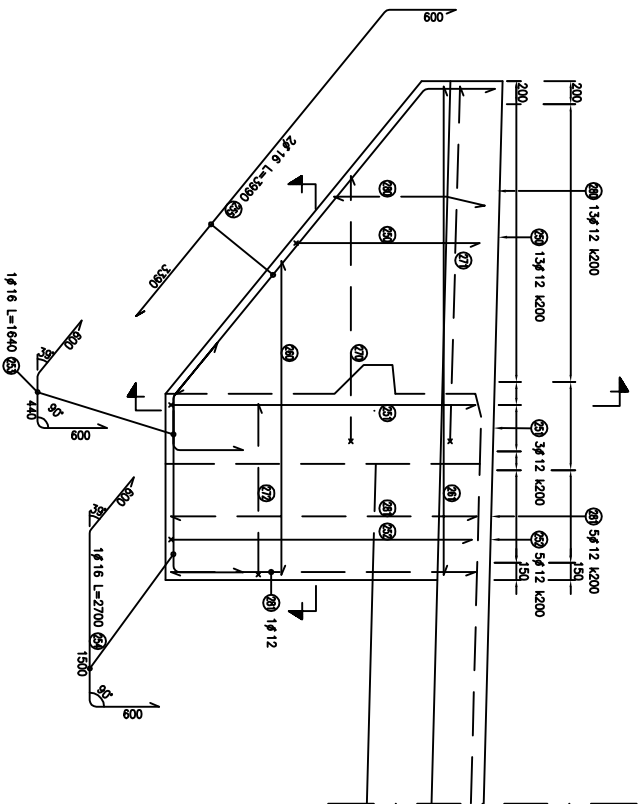
A-A



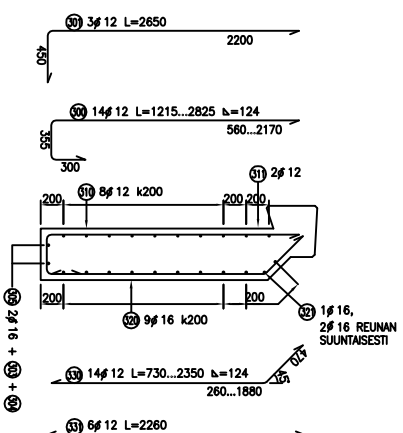
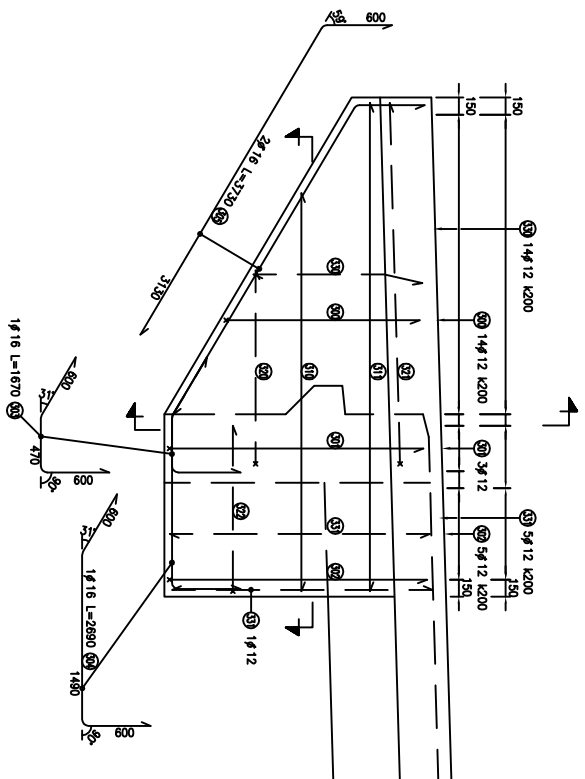
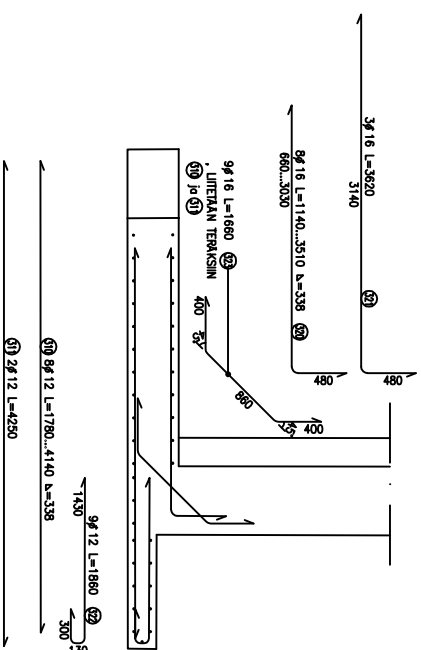
SIIPI 2, ei mittakaavaa



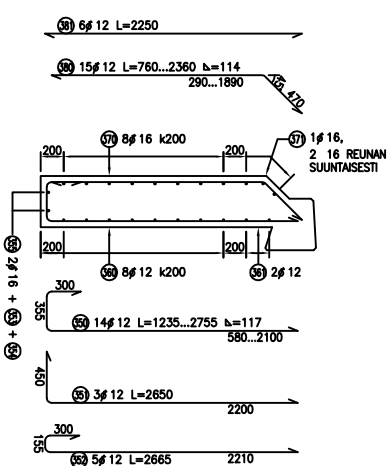
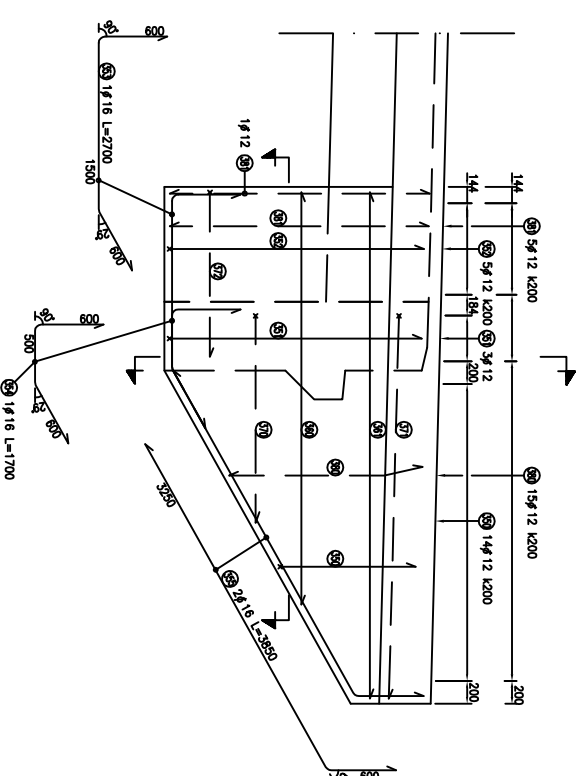
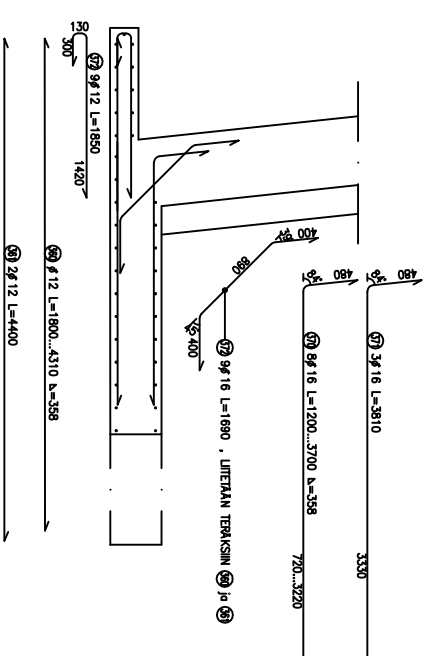
LITE 1 / 10 (15)



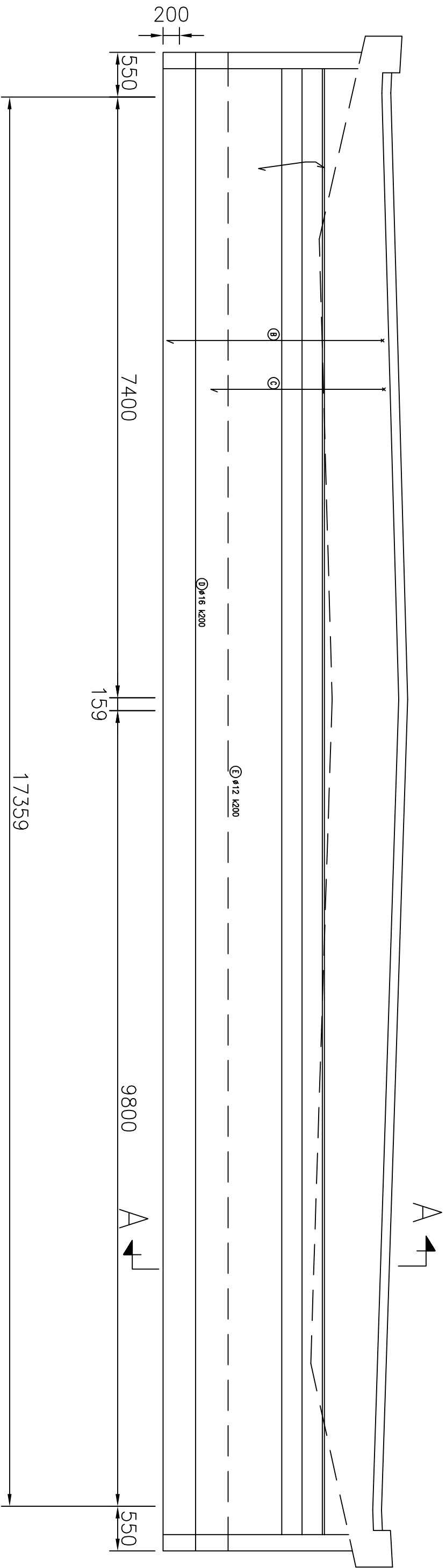
SIP 3, ei mitakaava



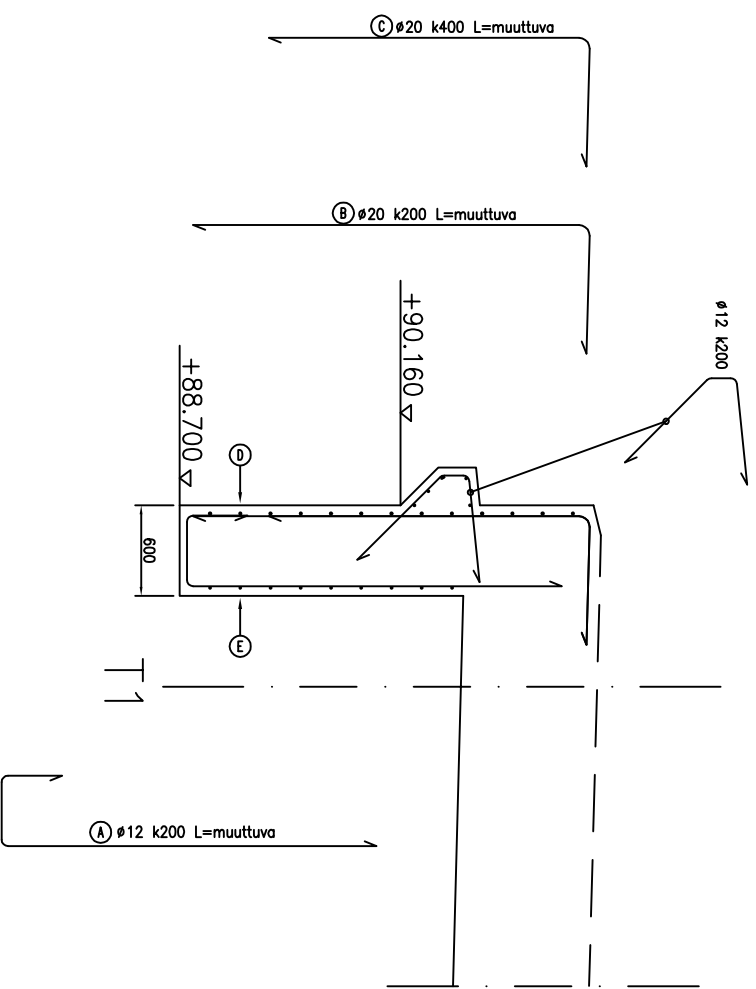
SILP 4, ei mitakaava LITE 1 / 11 (15)



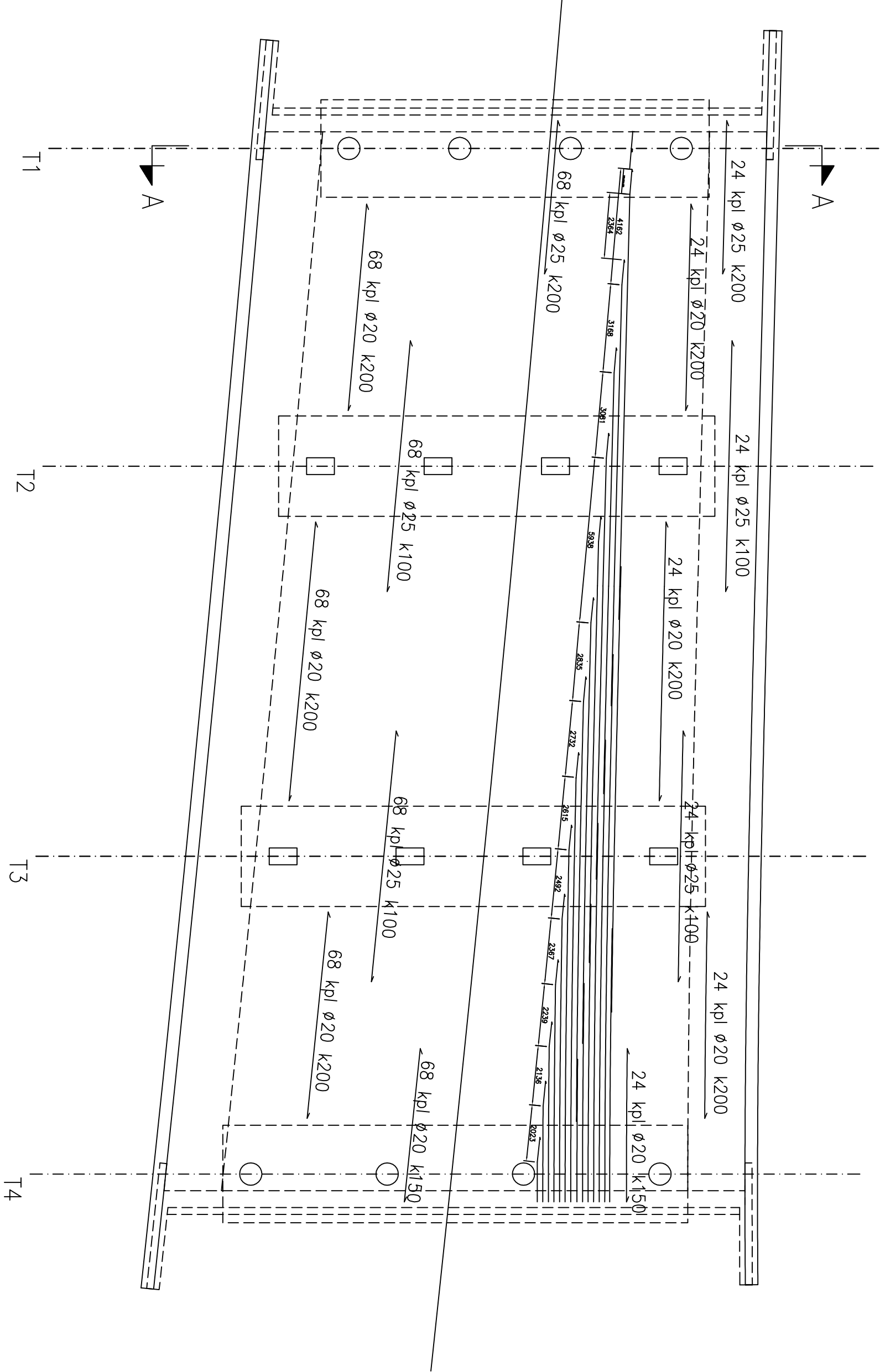
PUSKUPALKKI 1:50



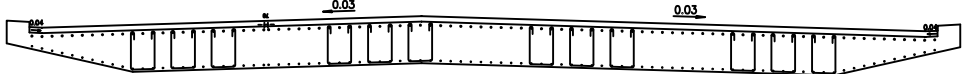
A - A 1:50



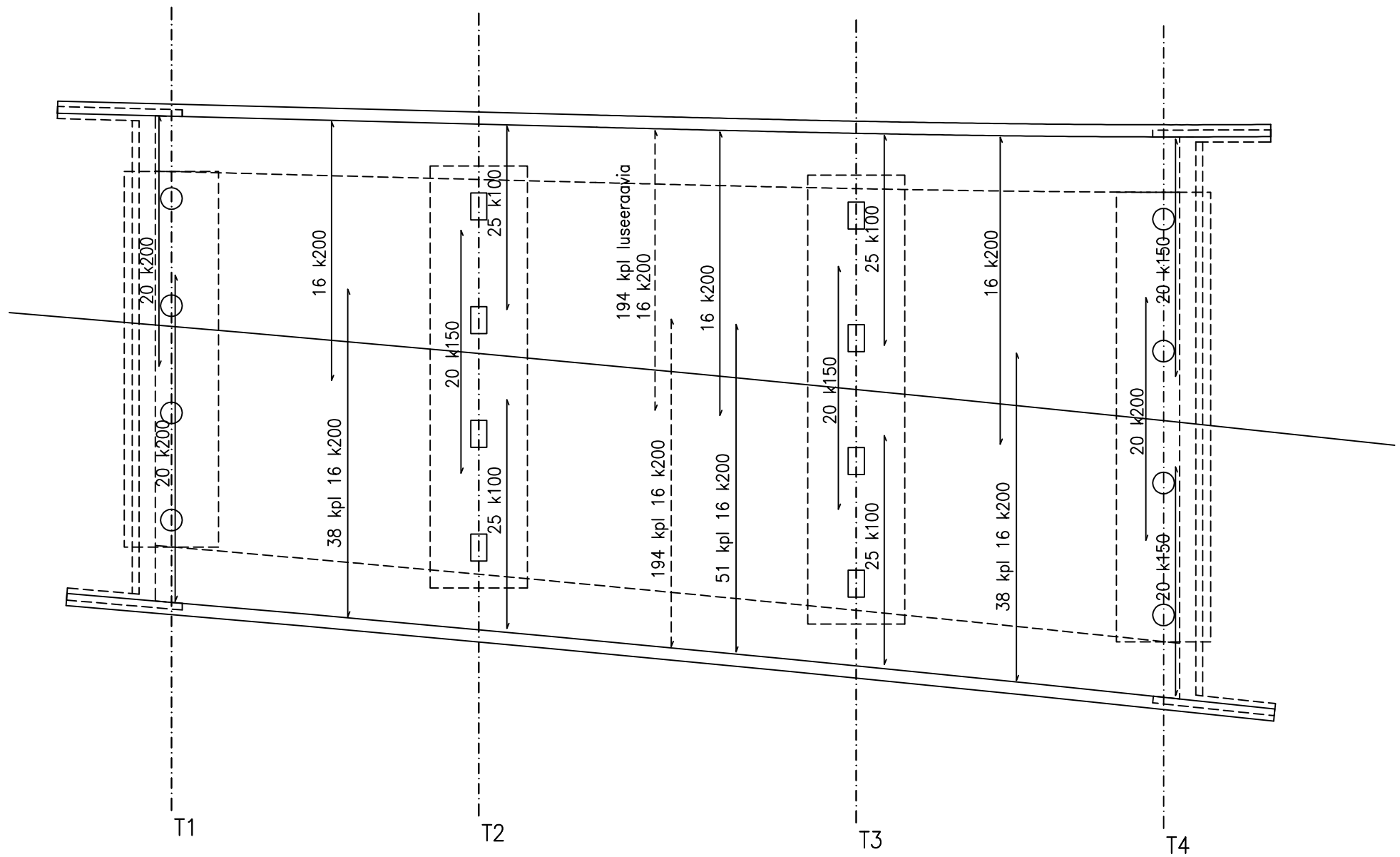
YLÄPINNAN PÄÄTERÄSTYS, LUONNOS 1:150



A-A 1:150

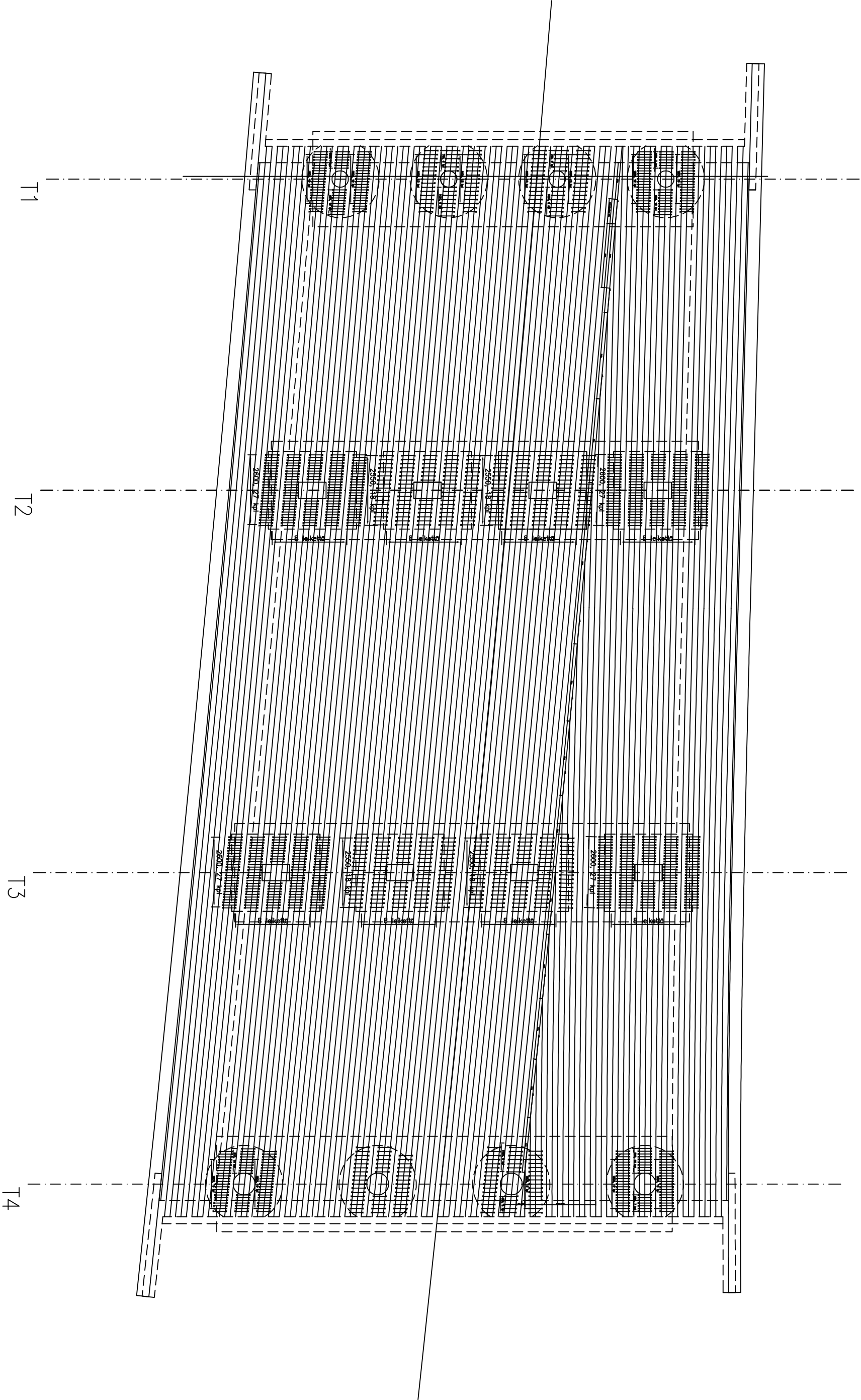


1:200



HAOITUSPERIAATE, ei mittakaavaa

– hakoja leveämmälle alueelle kuin tössä esitetty



FEM-Design 7.0 - © StruSoft -ohjelmassa korkeus kasvaa positiivisesti alaspäin, eli käytännössä tulosteiden antama mallin yläpinta on todellisuudessa rakenteen alapinta.

Yläpinnan poikkisuuntainen momentti = M_x' bottom
Yläpinnan pituussuuntainen momentti = M_y' bottom

Alapinnan poikkisuuntainen momentti = M_x' top
Alapinnan pituussuuntainen momentti = M_y' top

Yo. tutkittu seuraavilla kuormitusyhdistelmillä:

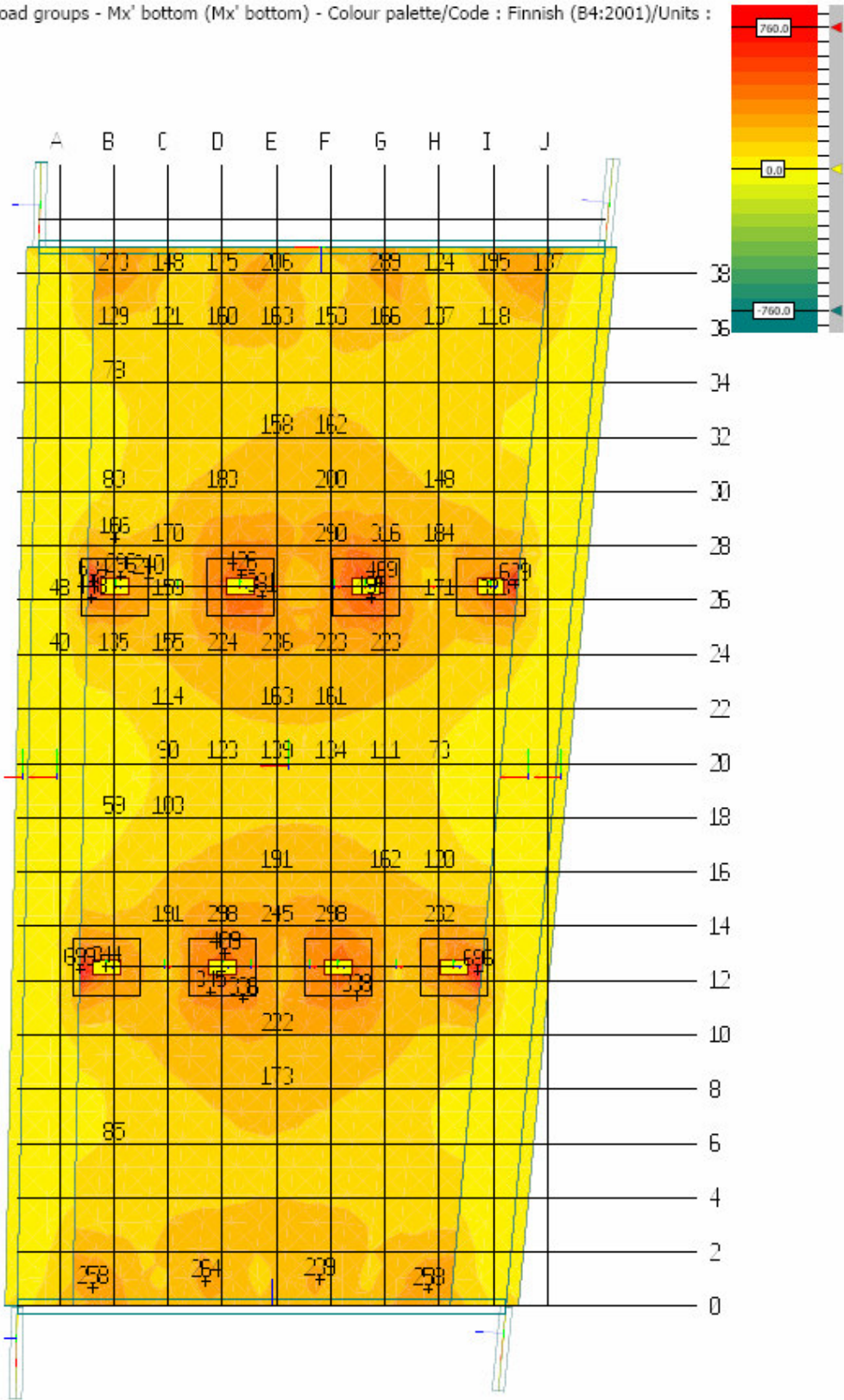
Murtorajatilan kuormat:

Pys_muut_MRT.str
Ek_MRT.str
Lk-osa2_MRT.str
Lk-osa1_MRT.str

Käyttörajatilan kuormat:

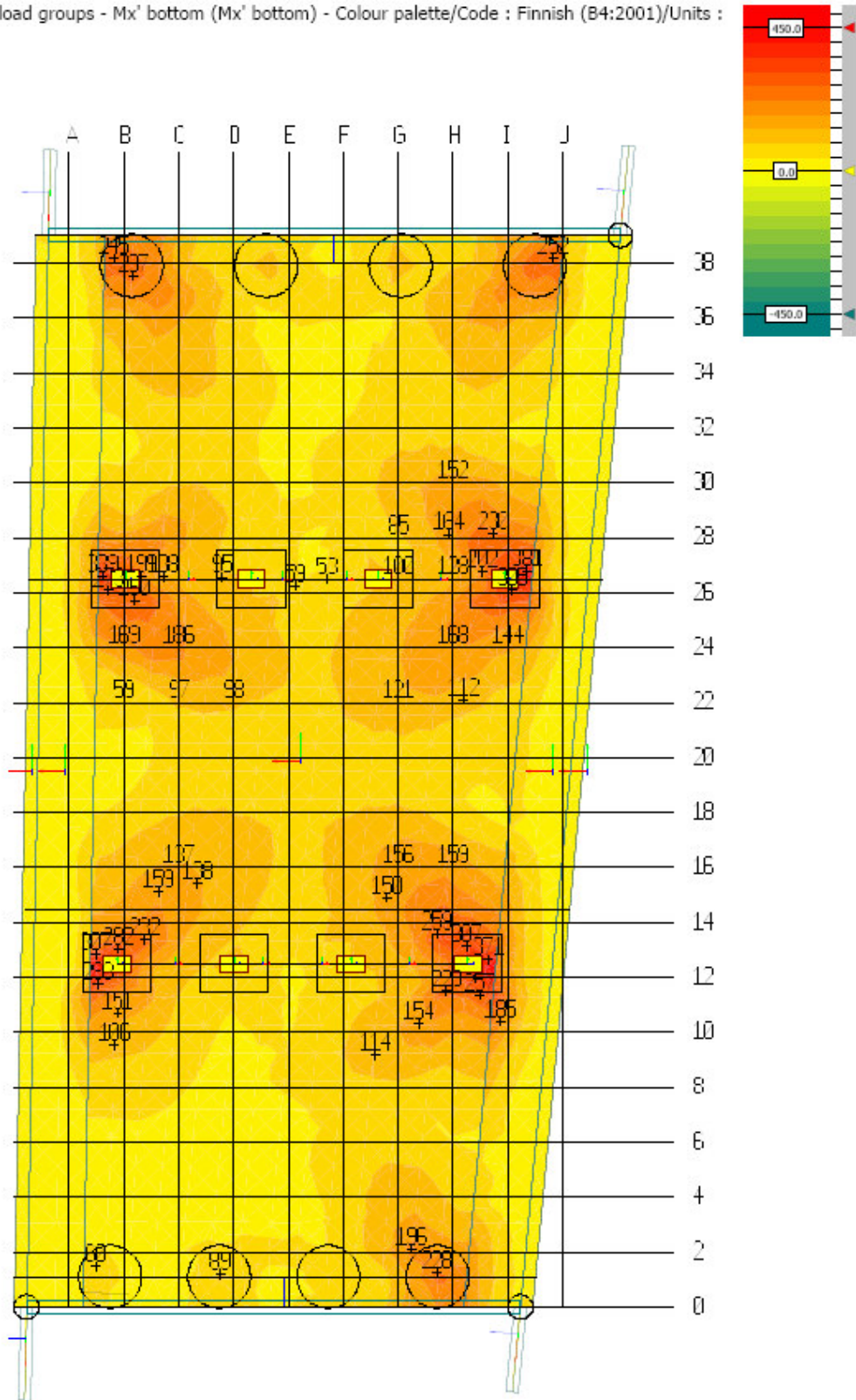
Pys_muut_KRT_2.str
Pys_muut_KRT_pitkaaik.str
Lk-osa2_KRT_2.str
Lk-osa1_KRT_2.str

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



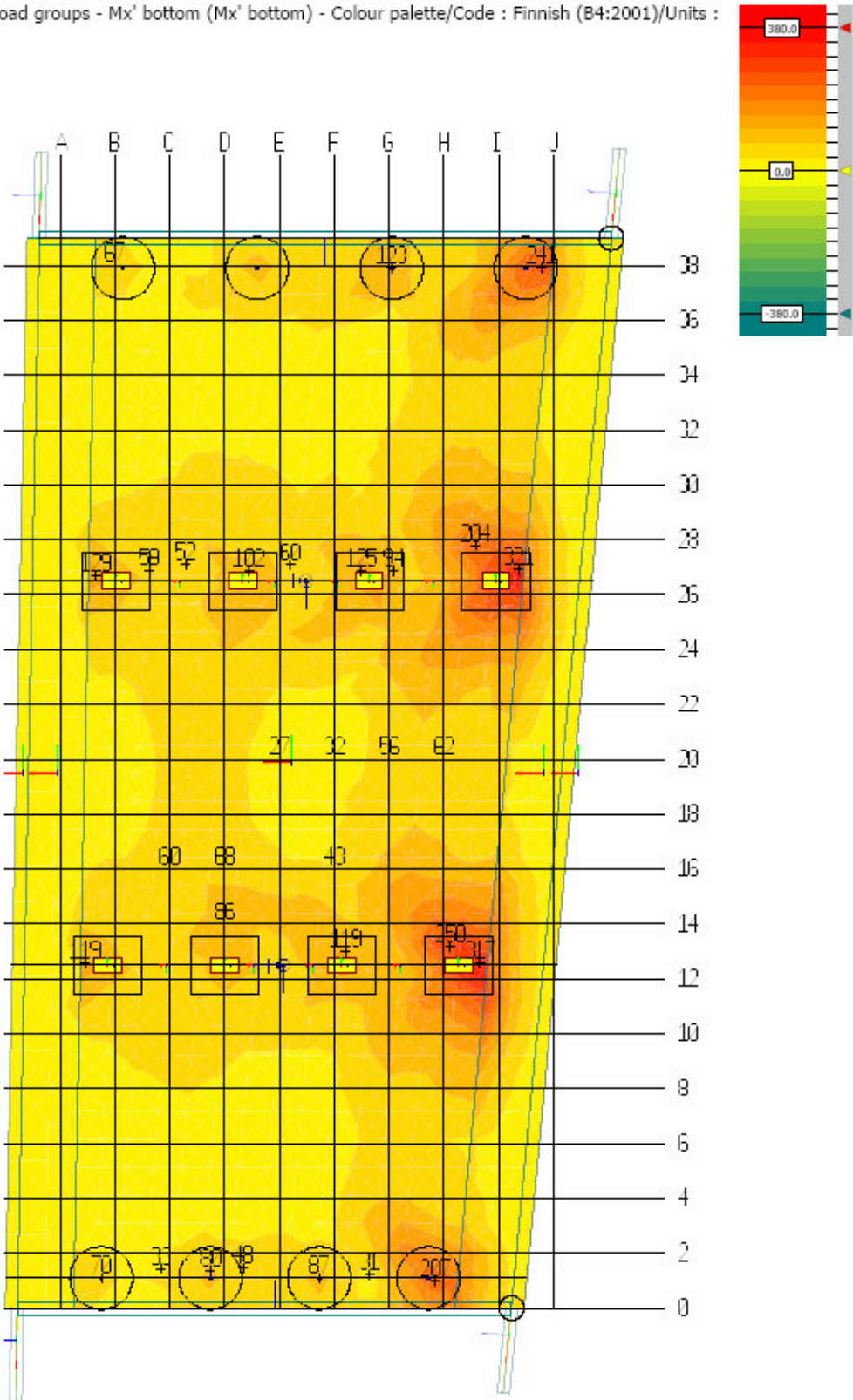
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 11:56:46
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 1

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



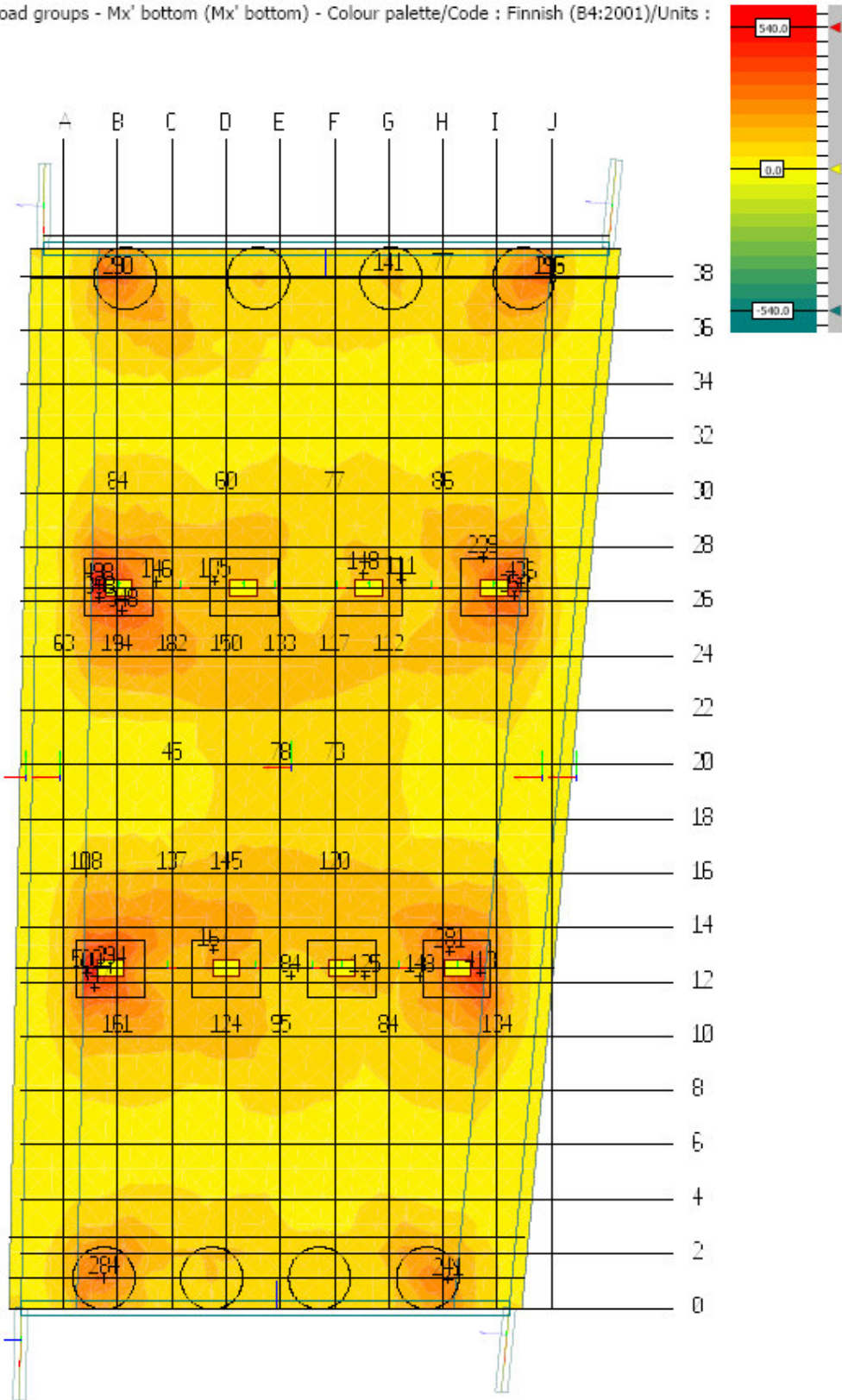
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Ek_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:06:07
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 2

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



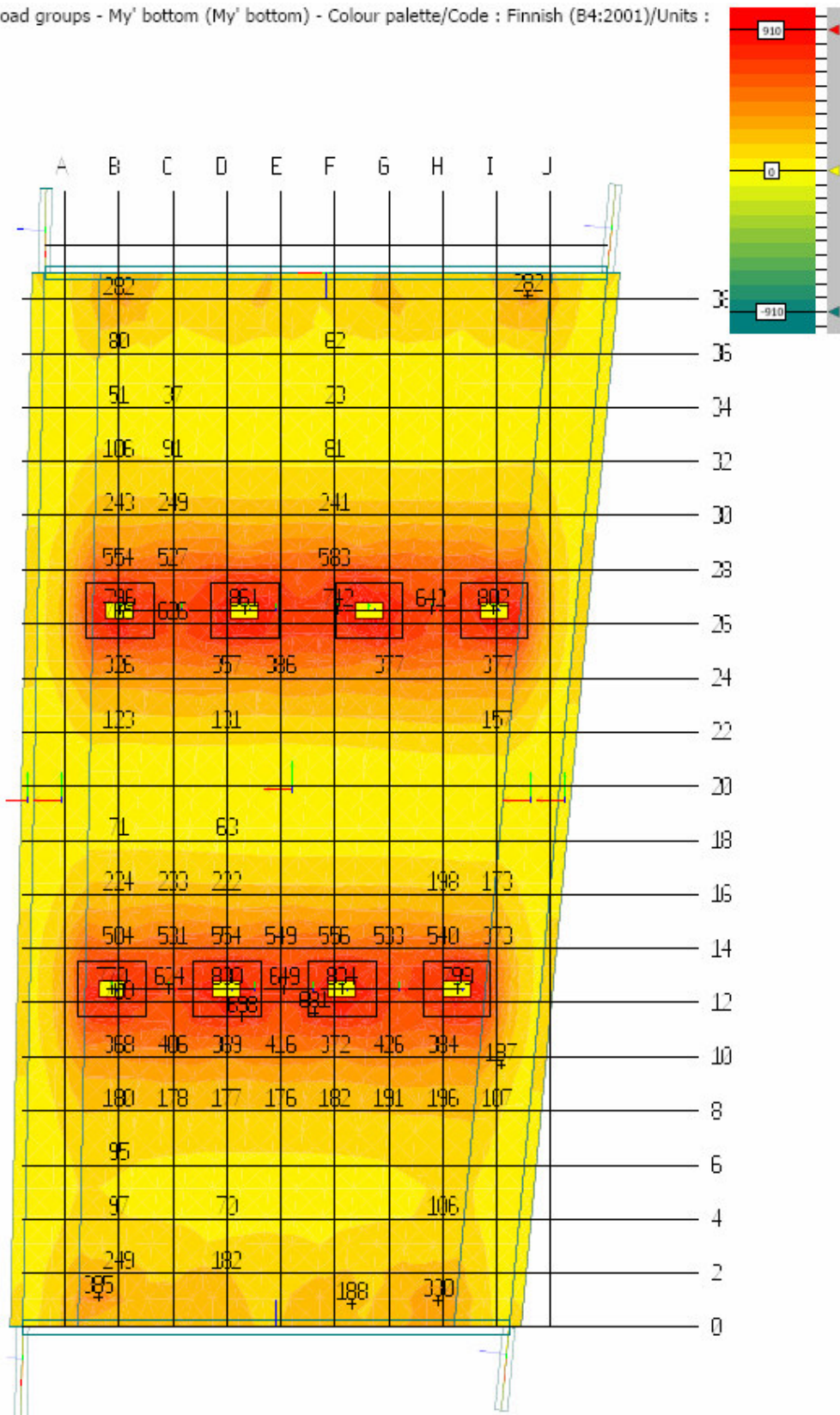
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:11:48
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 3

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



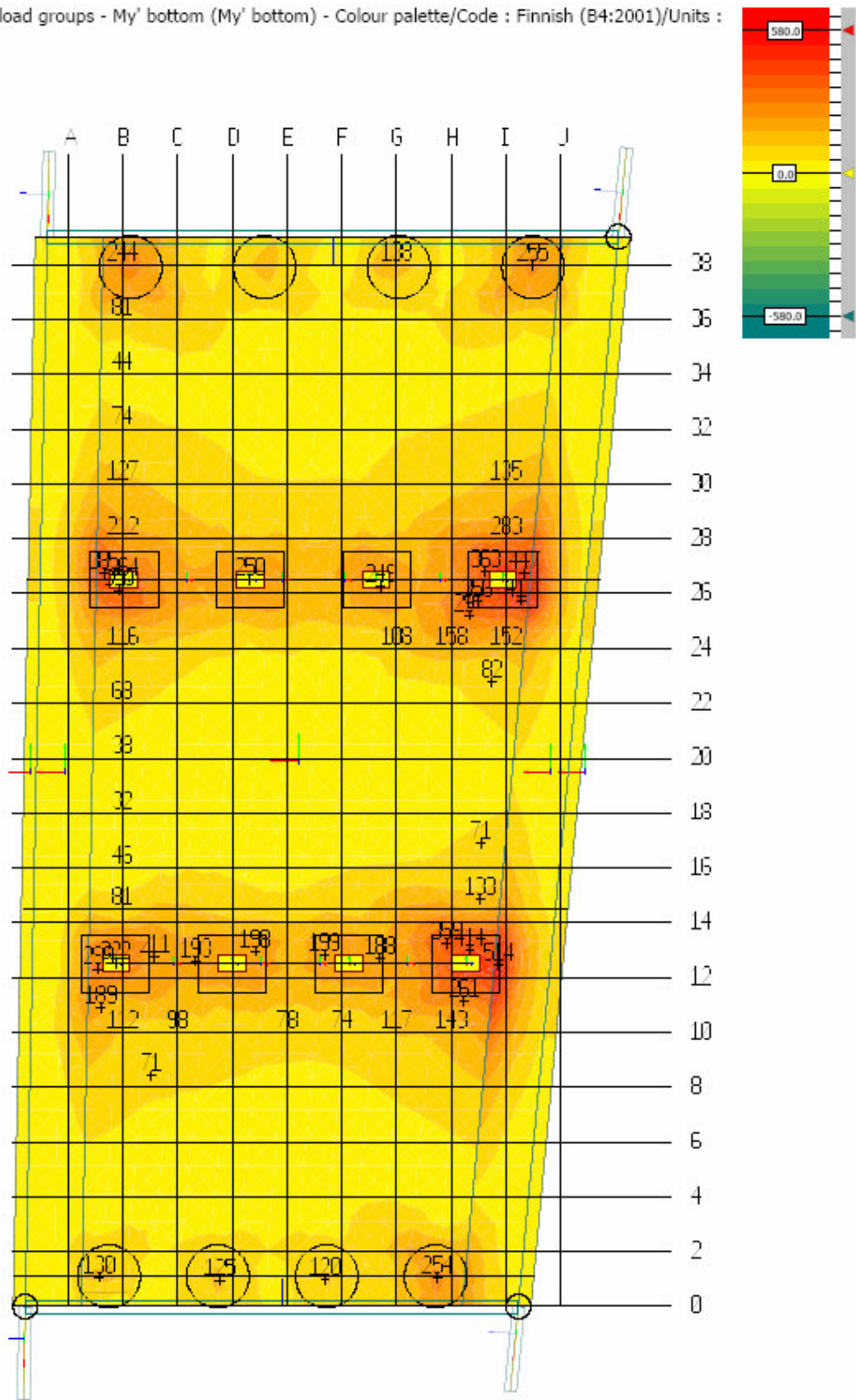
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:16:53
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 4

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



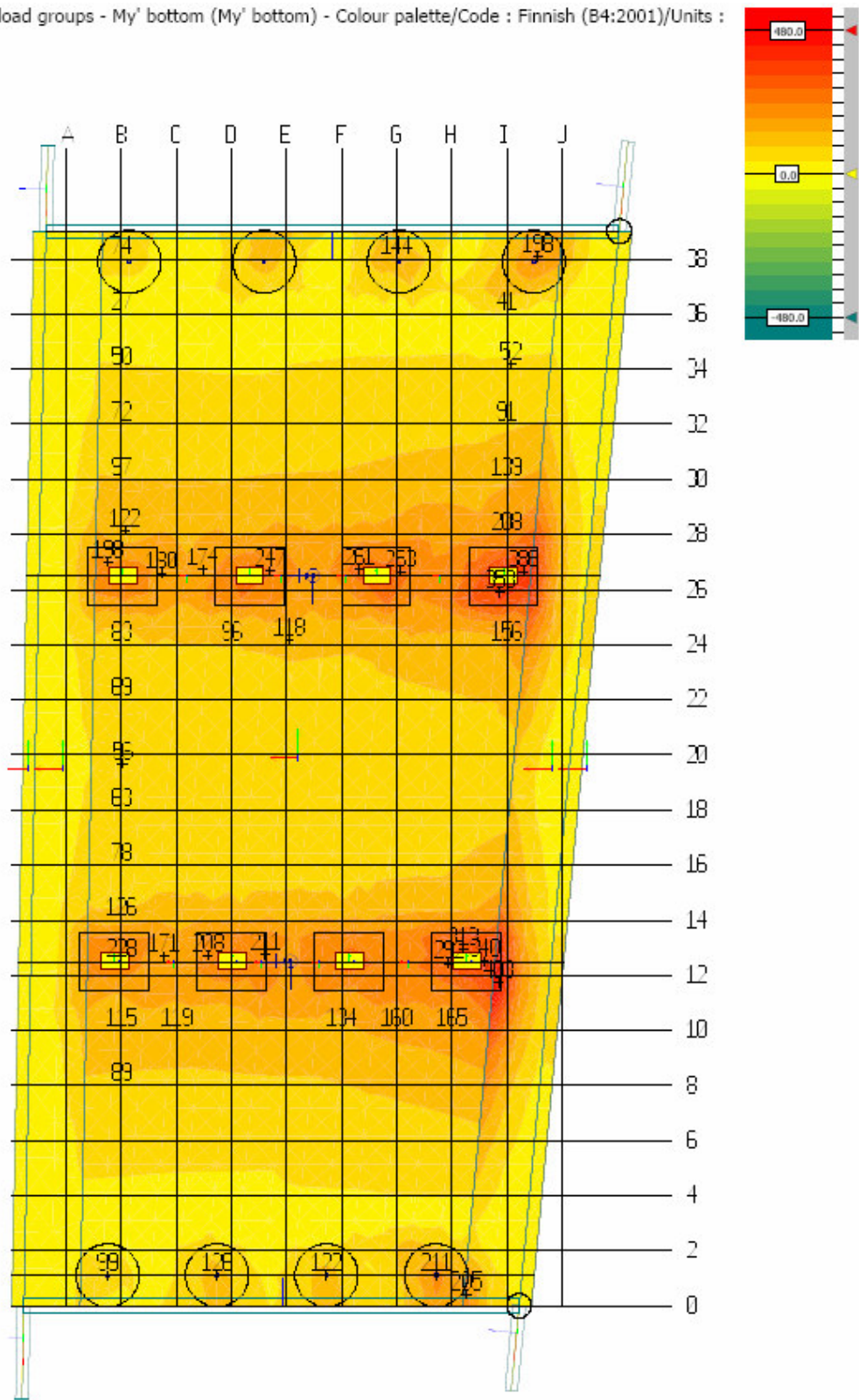
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 11:58:47
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 5

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



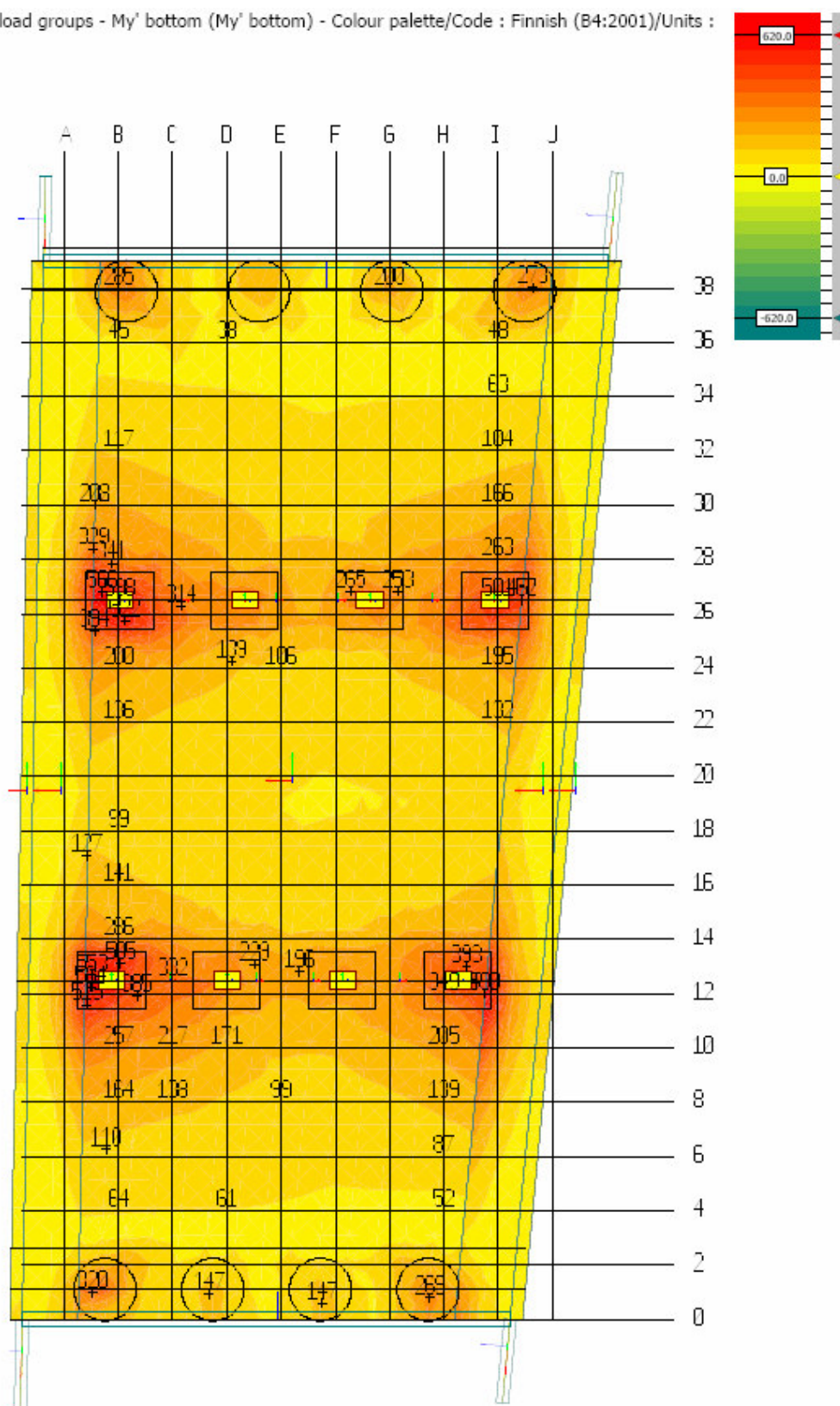
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Ek_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:07:30
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 6

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



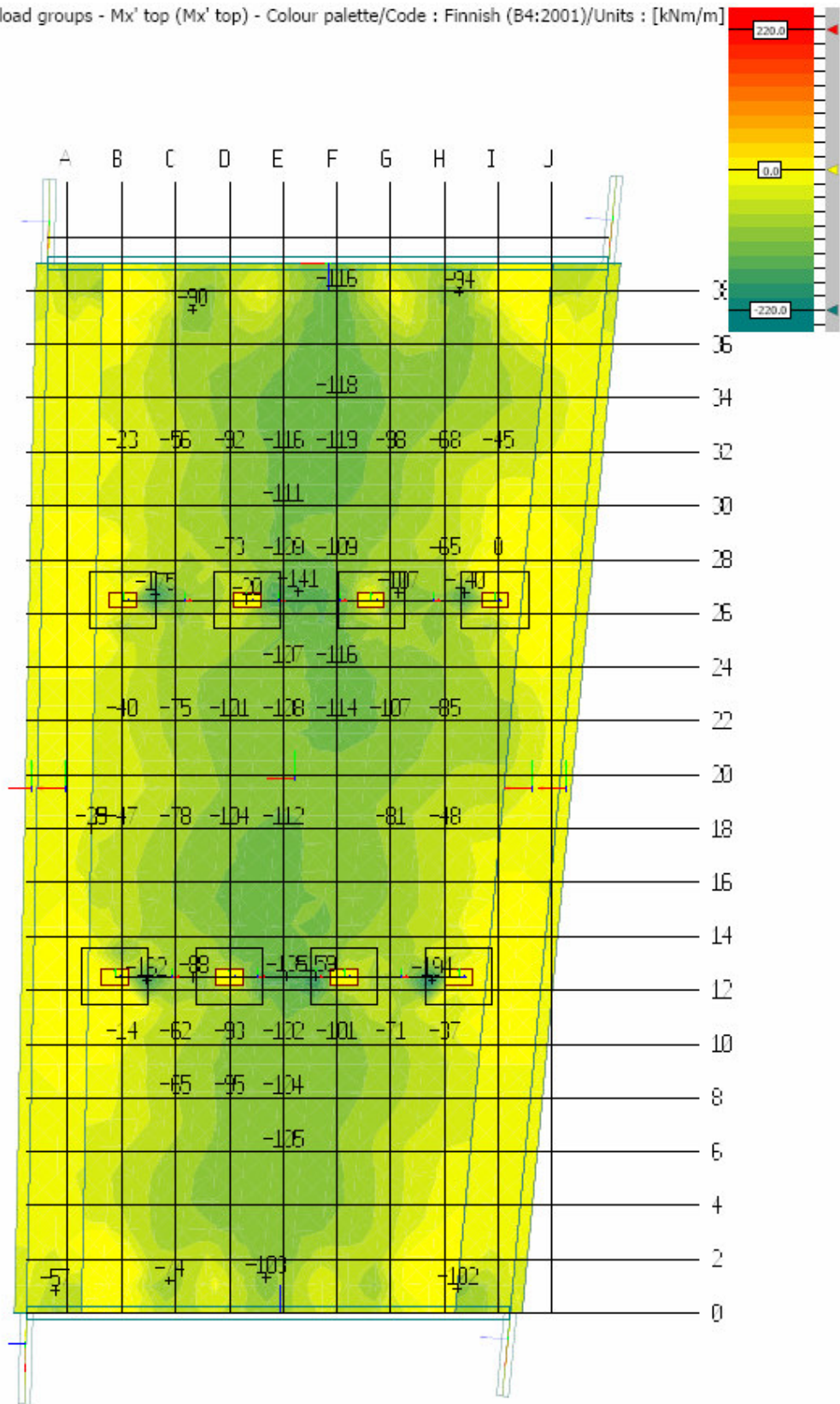
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:12:55
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 7

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



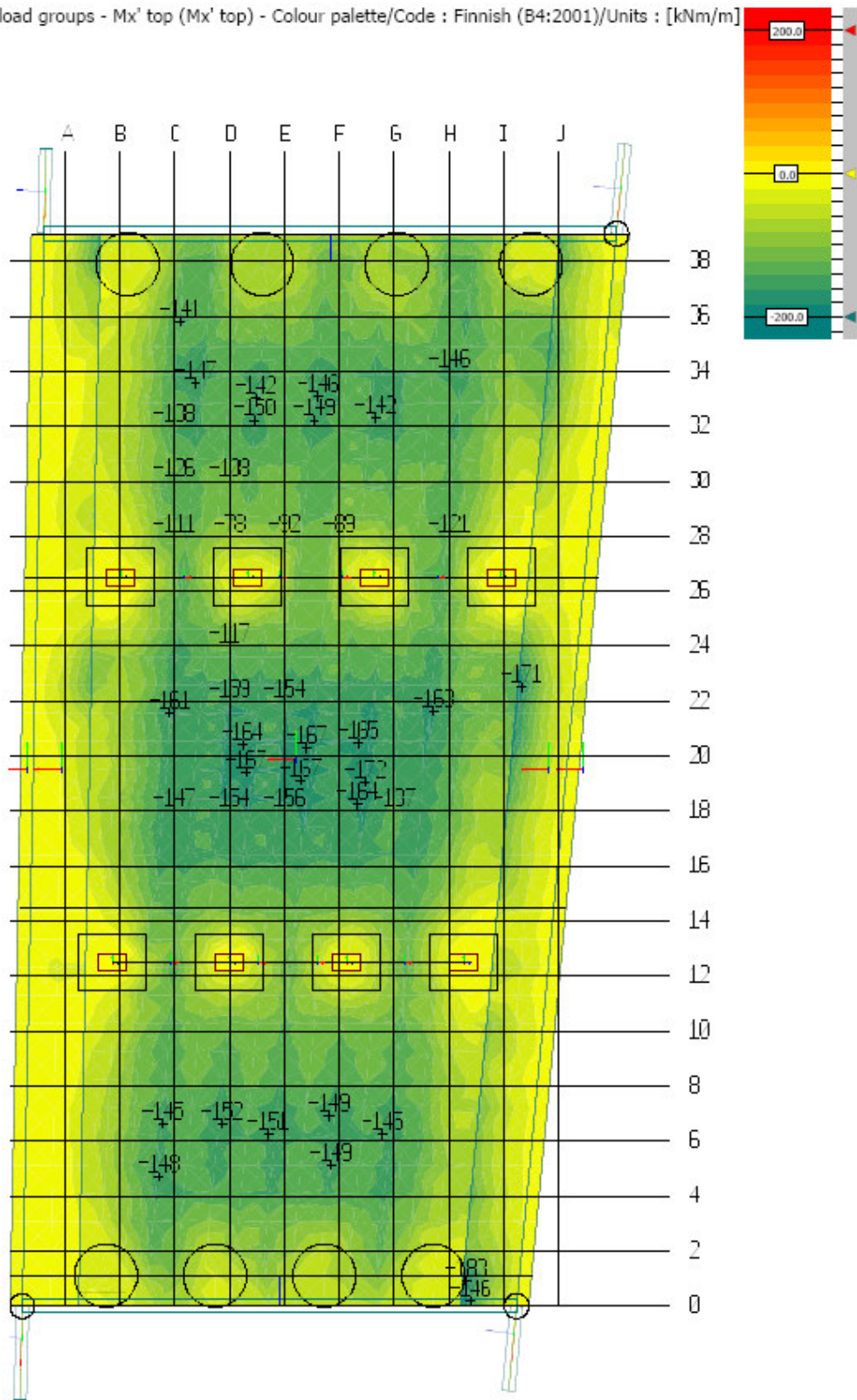
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:17:45
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 8

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



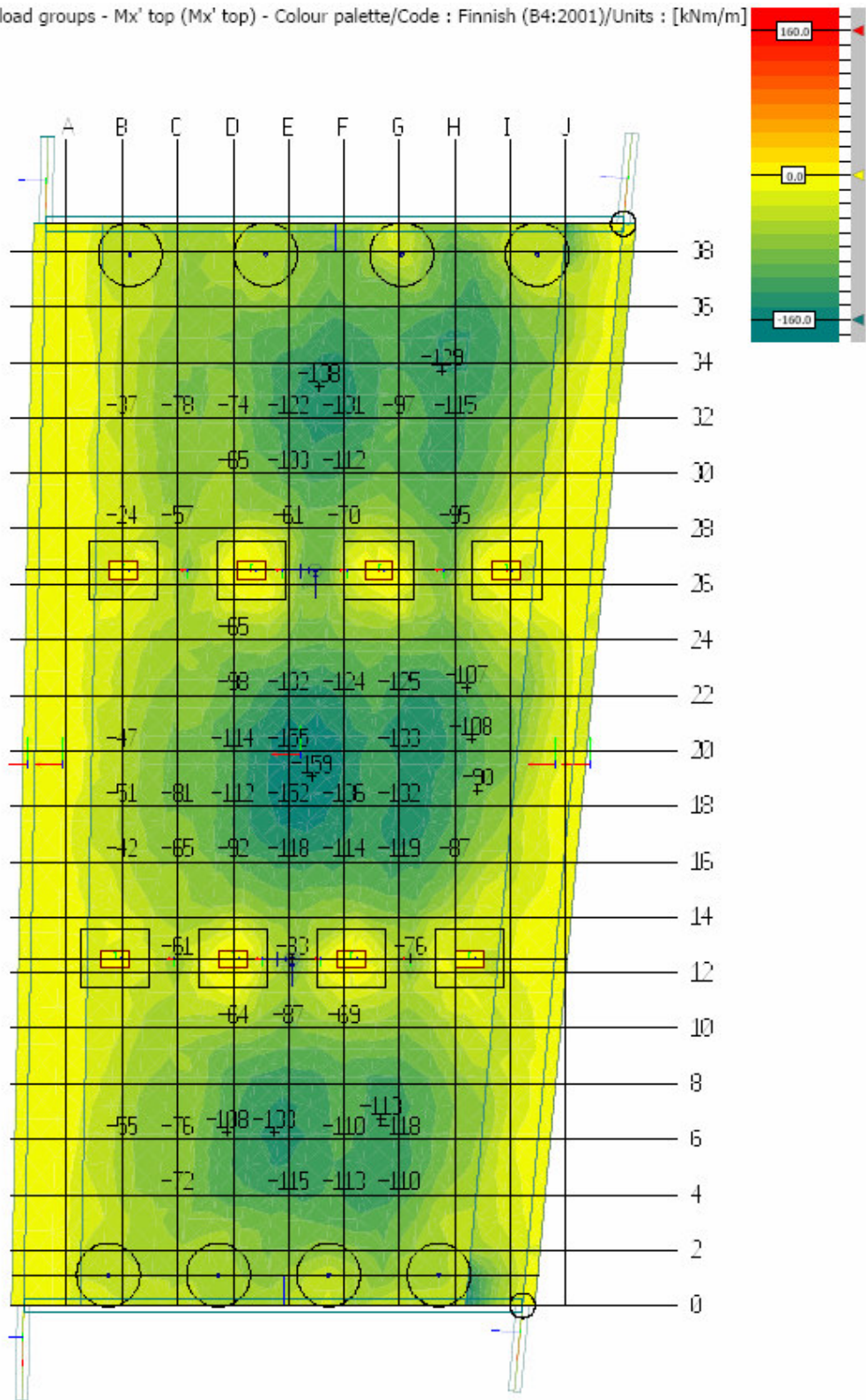
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:00:35
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 9

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



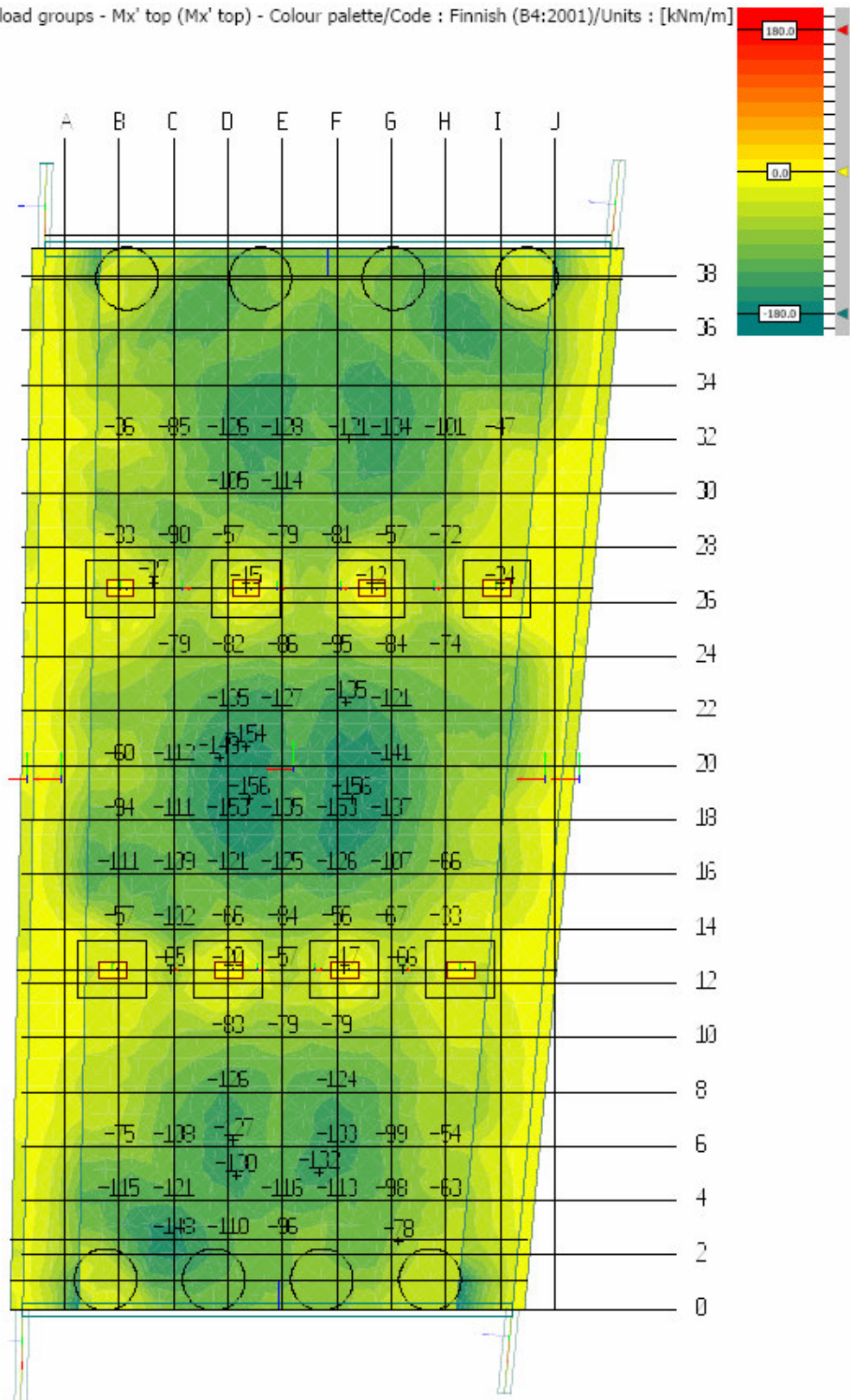
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Ek_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:08:24
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 10

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



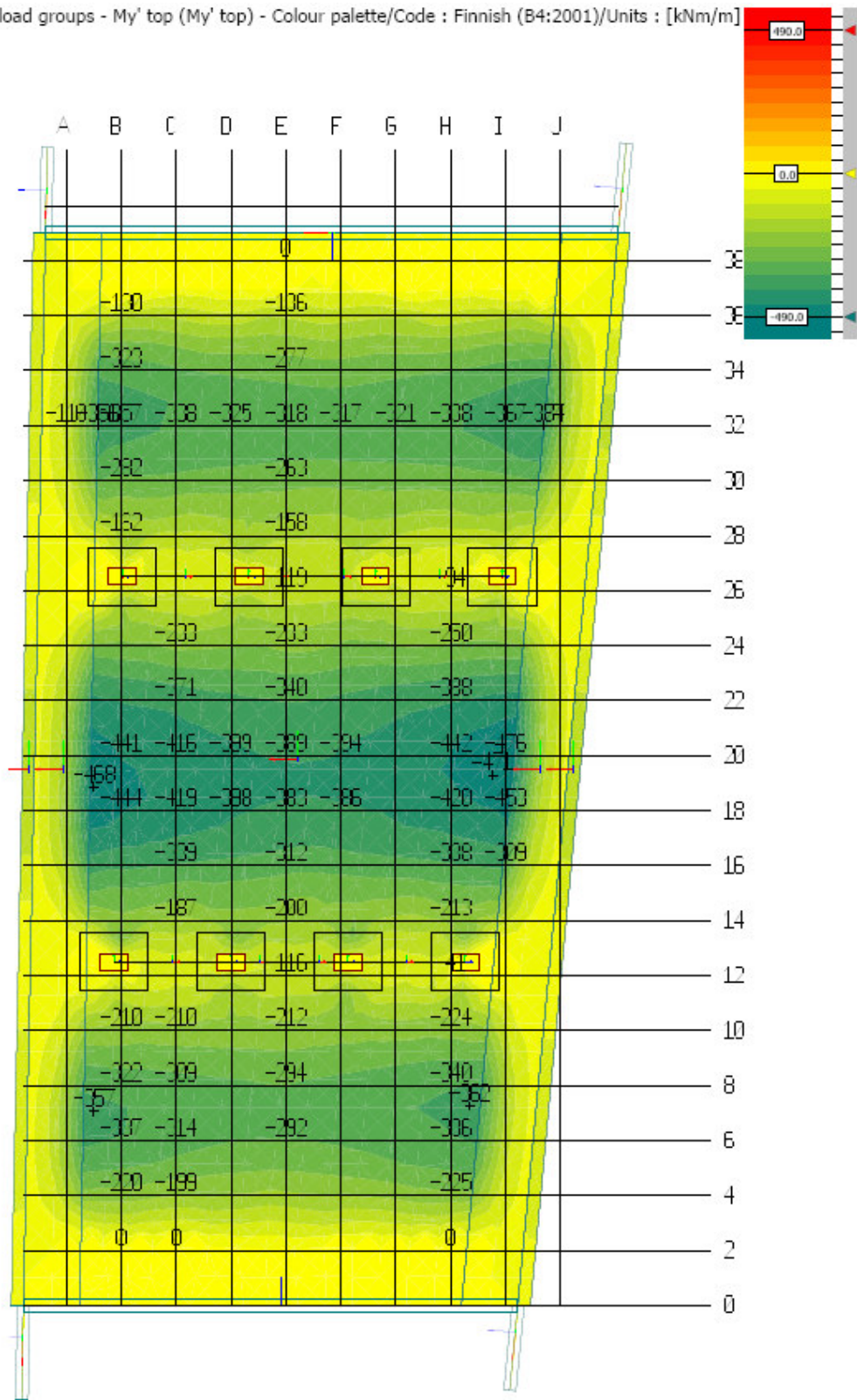
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:13:46
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 11

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



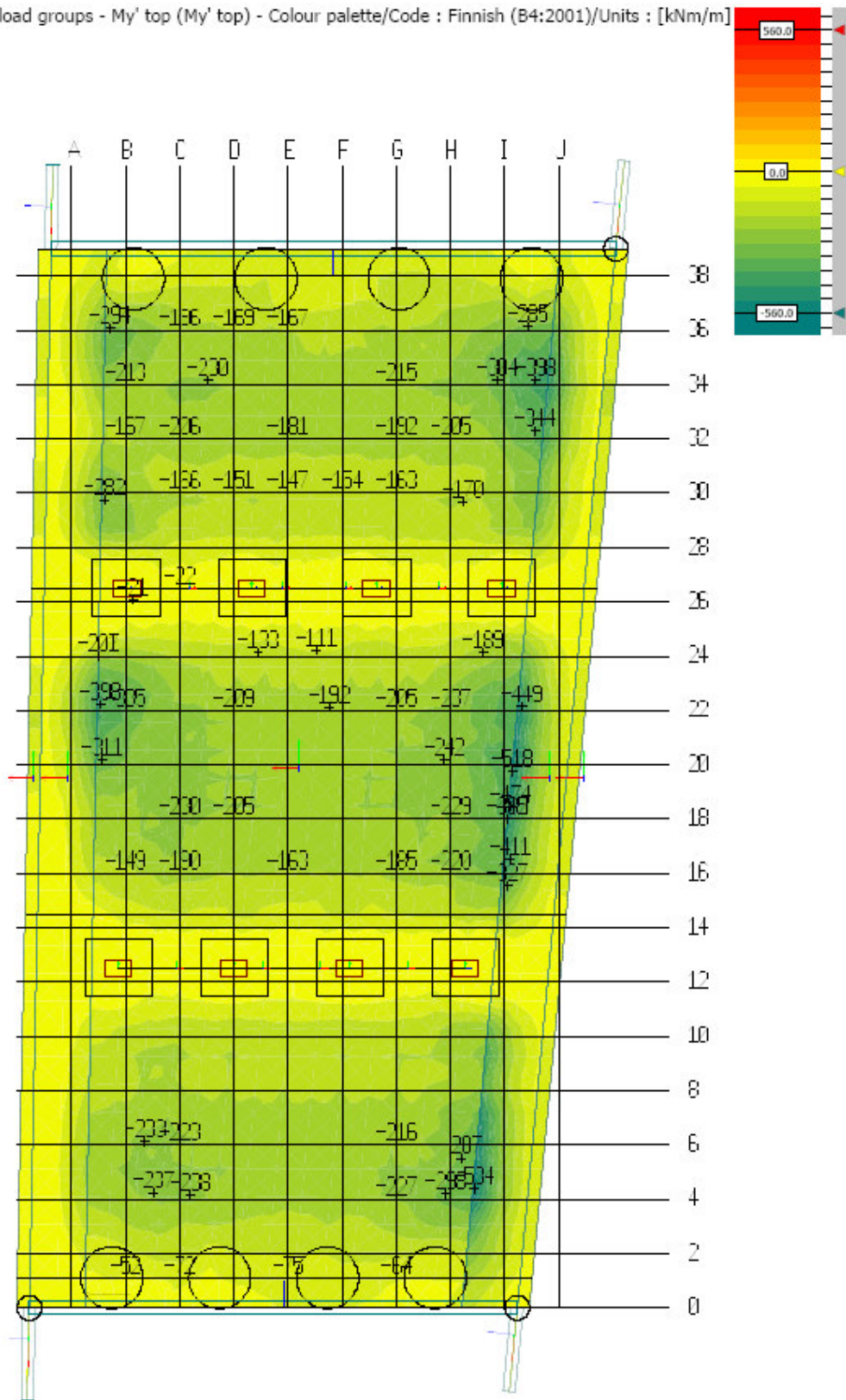
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:18:41
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 12

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



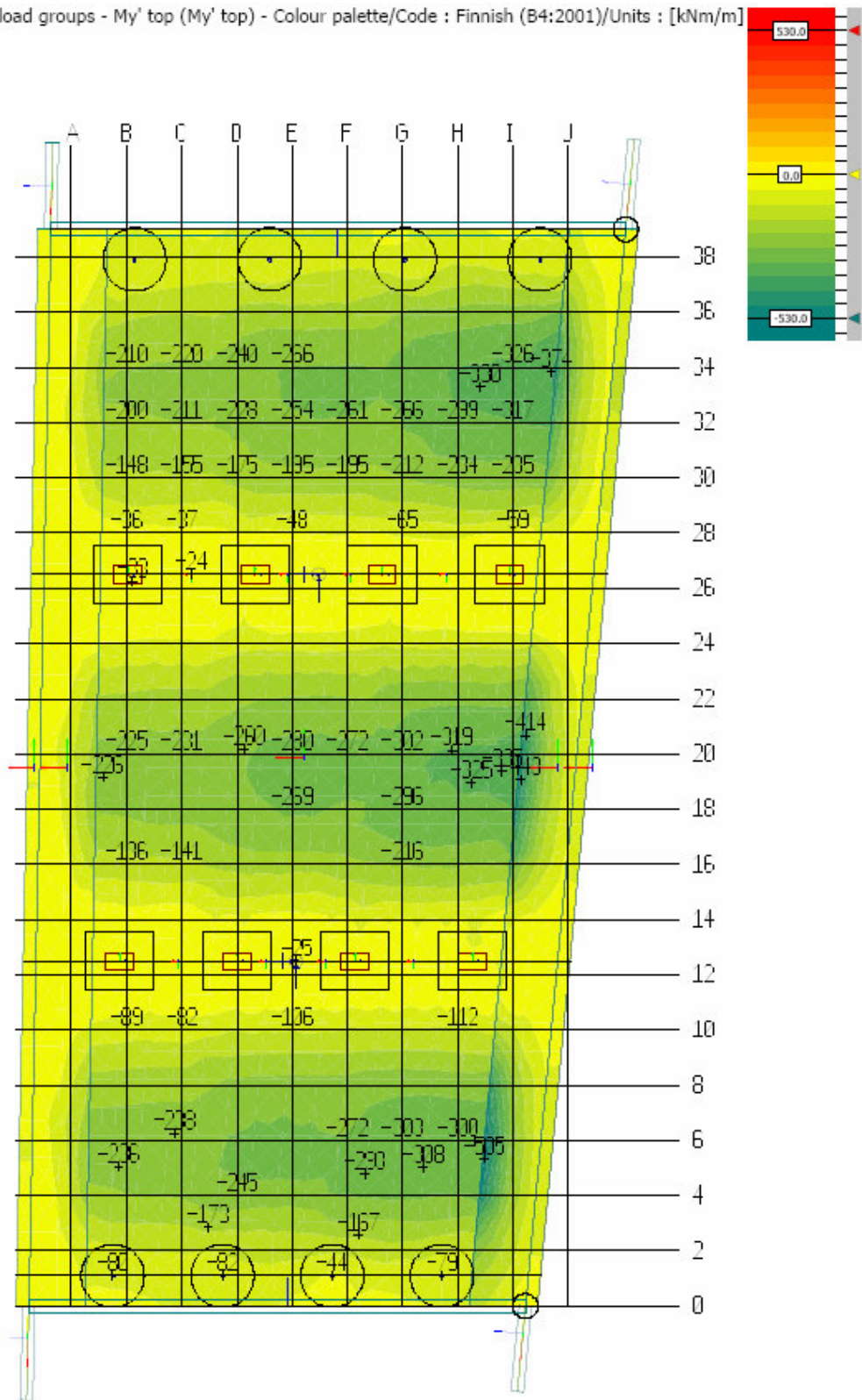
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:01:44
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 13

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



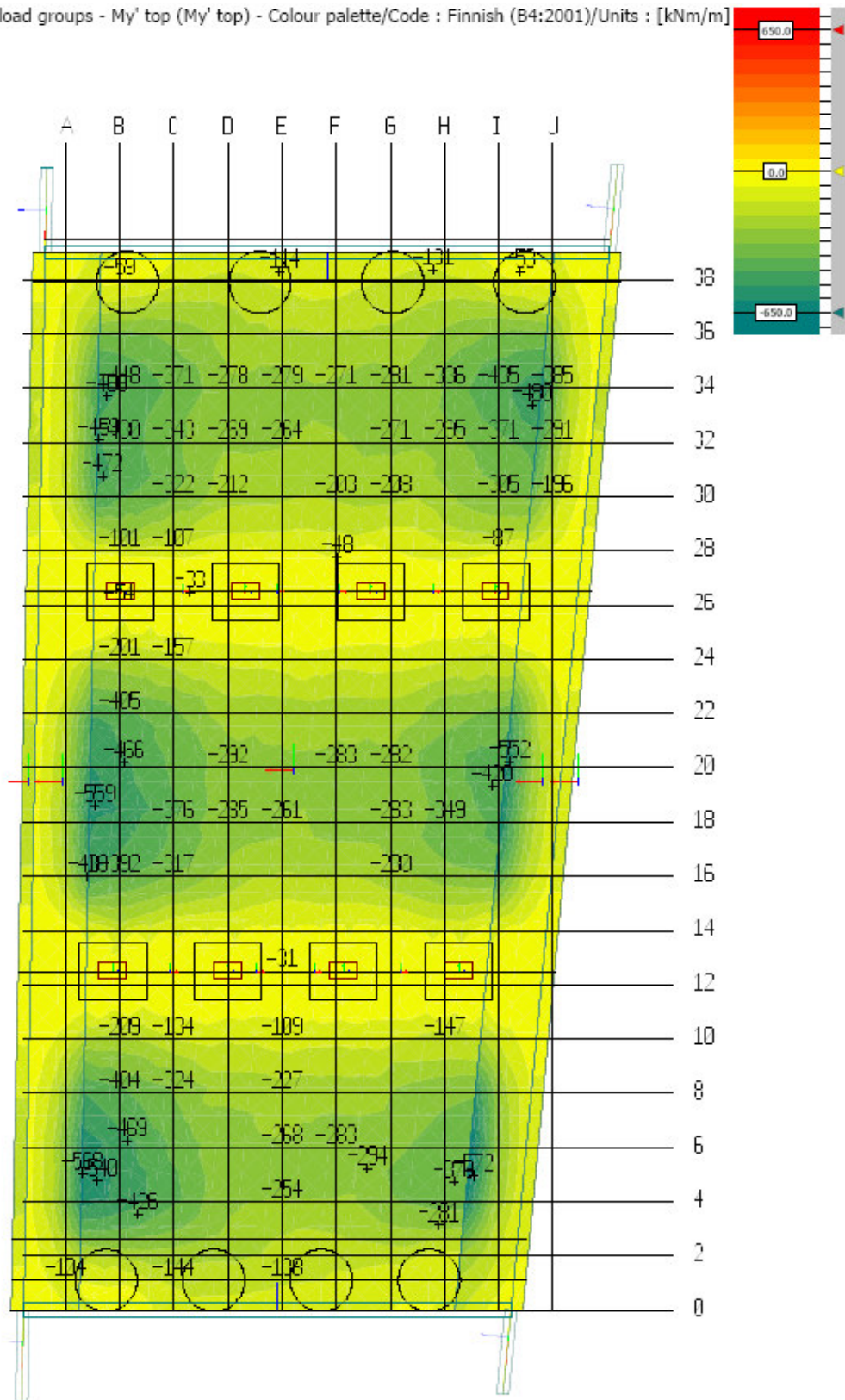
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Ek_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:09:18
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 14

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



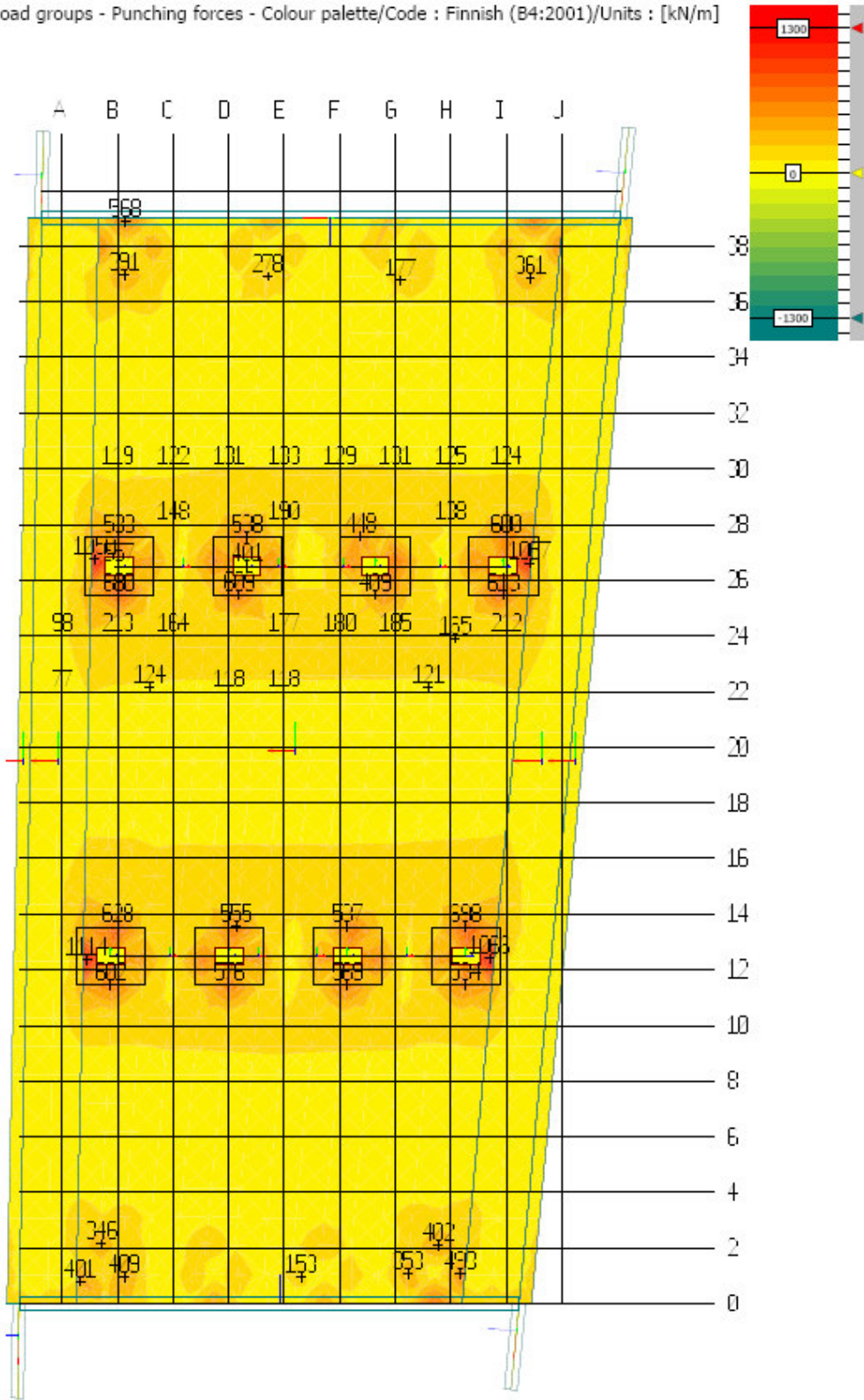
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:14:42
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 15

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



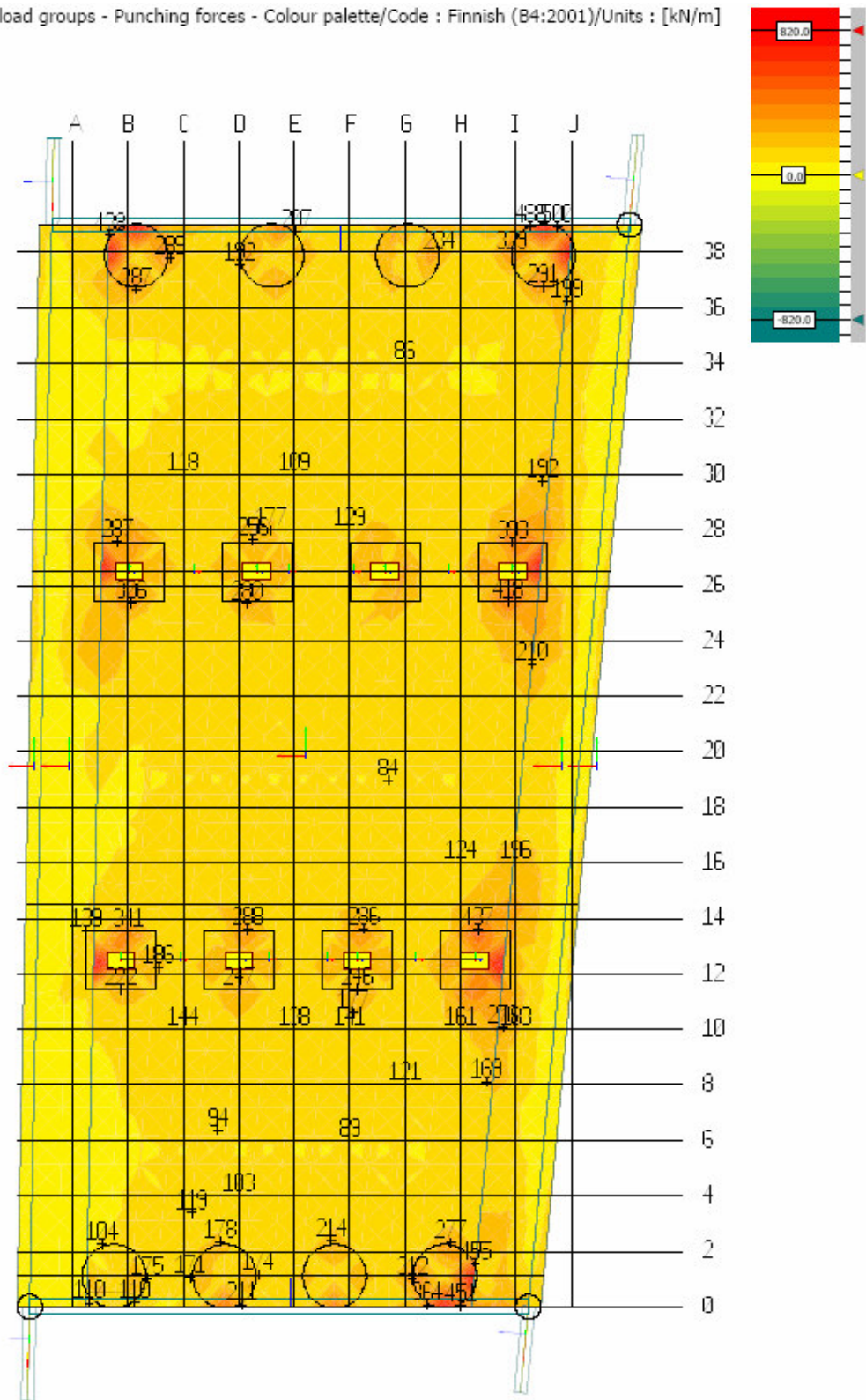
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 12:19:38
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 16

Maximum of load groups - Punching forces - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kN/m]



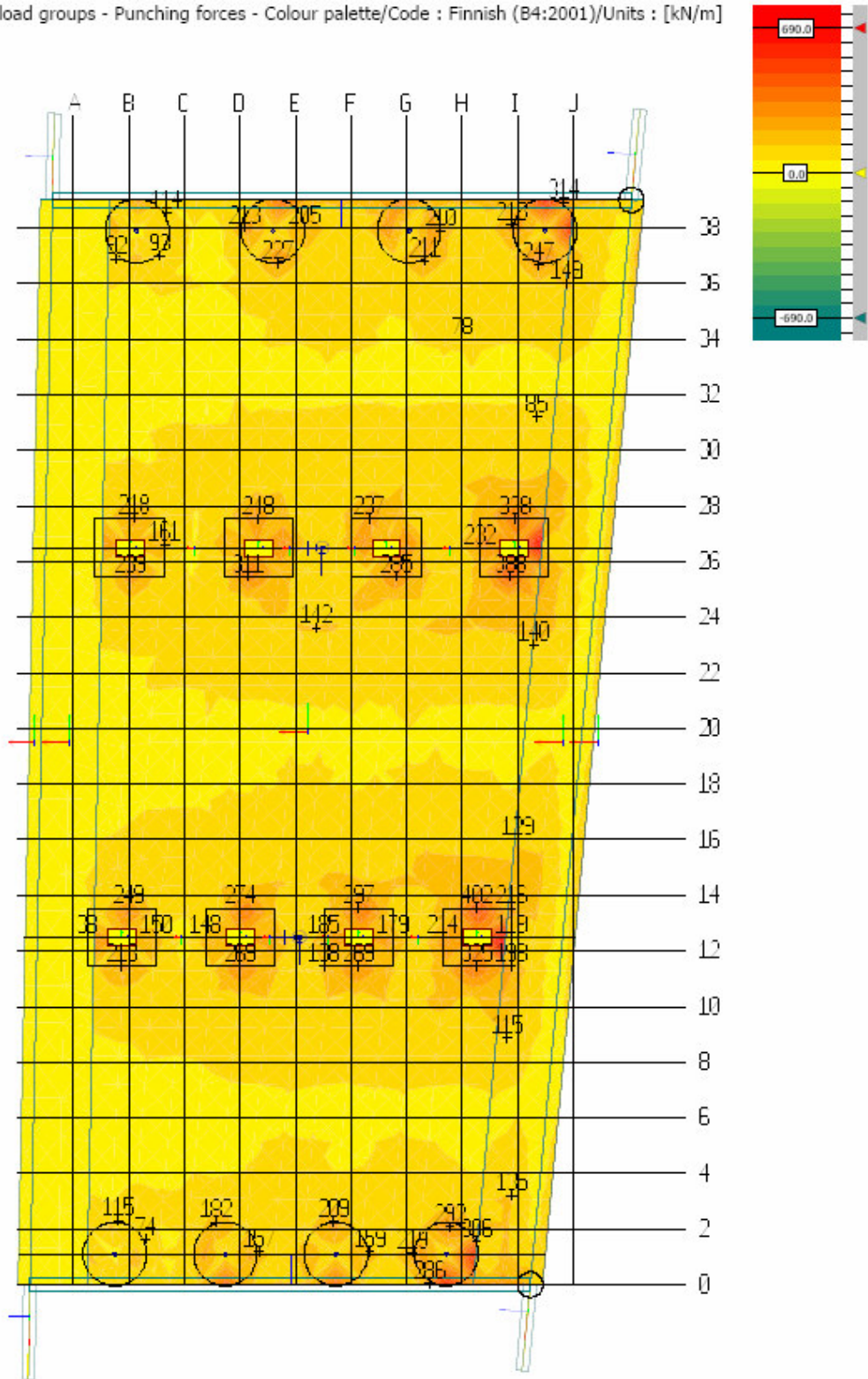
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 11:23:27
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 17

Maximum of load groups - Punching forces - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kN/m]



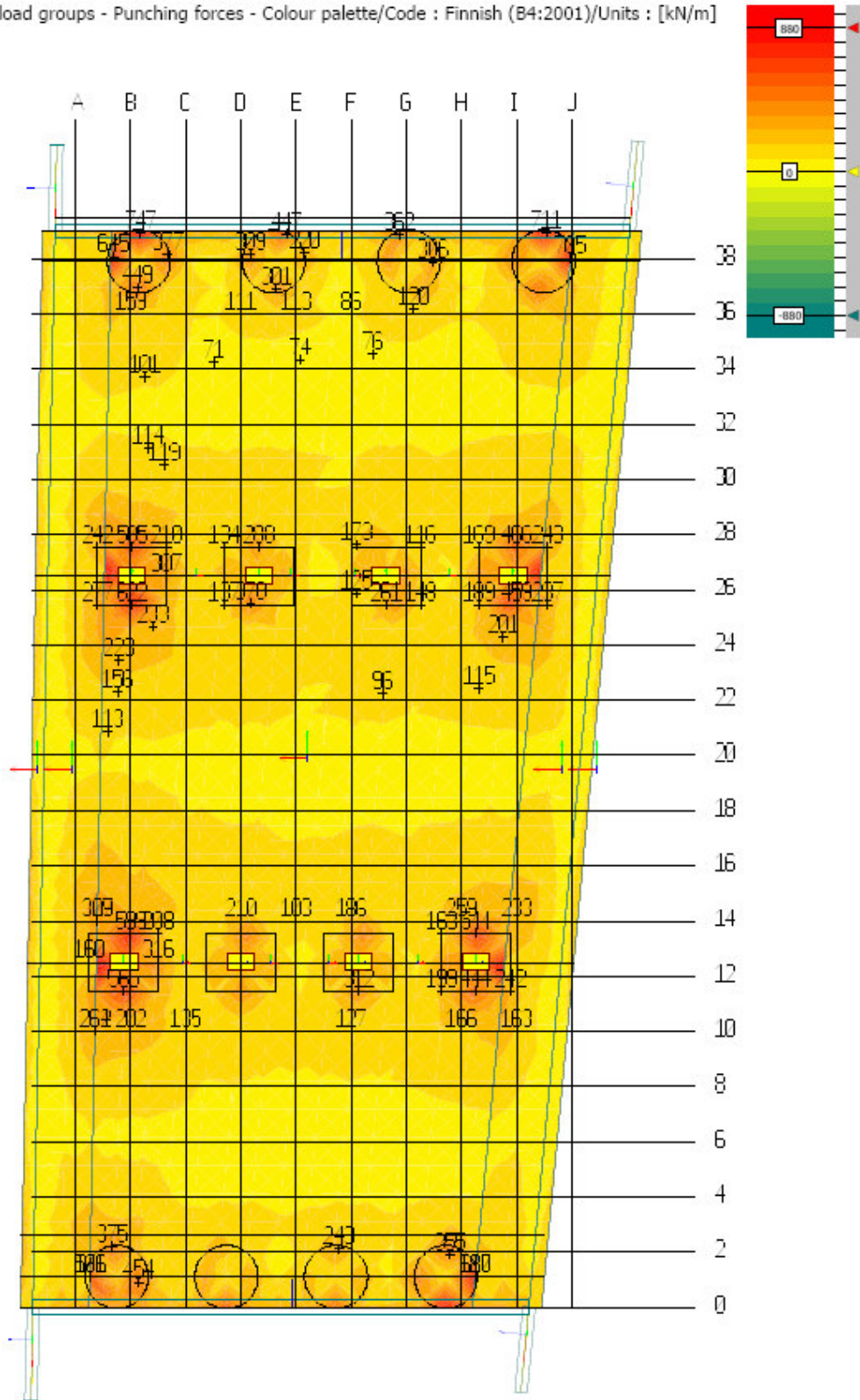
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Ek_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 10:36:09
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 18

Maximum of load groups - Punching forces - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kN/m]



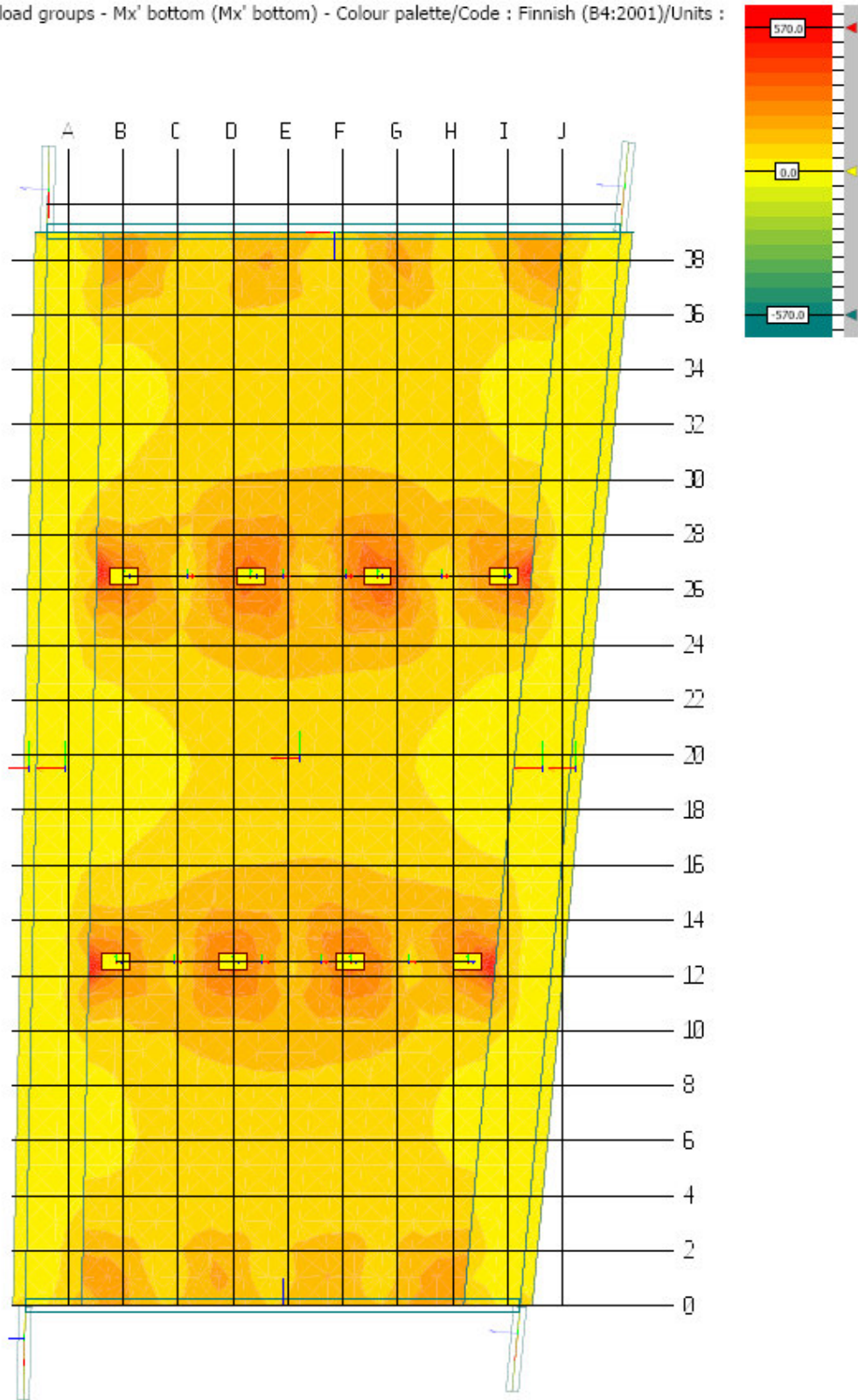
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 11:02:15
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 19

Maximum of load groups - Punching forces - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kN/m]



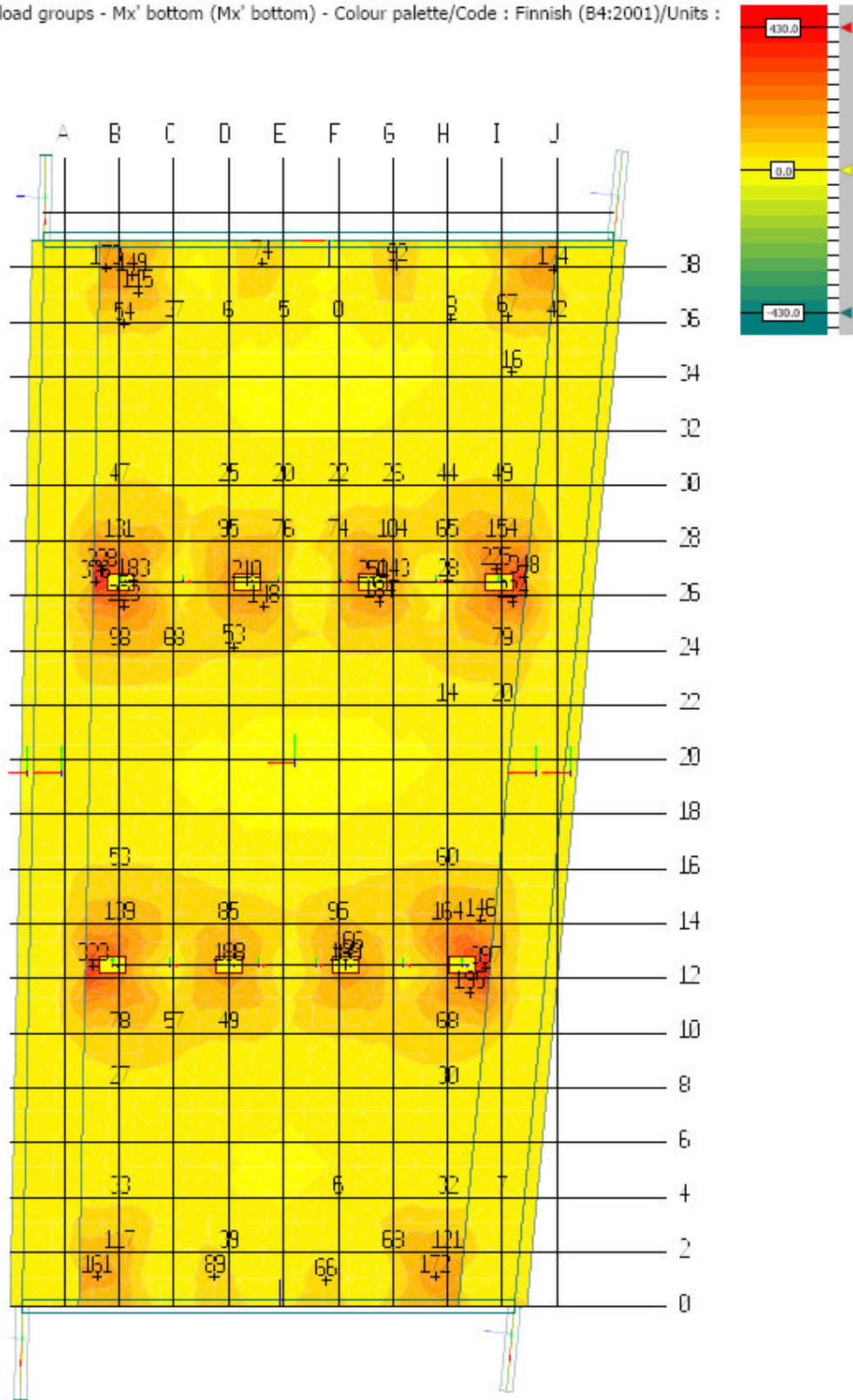
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_MRT.str
Designer		Date/Time	04/19/07 10:48:26
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 20

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



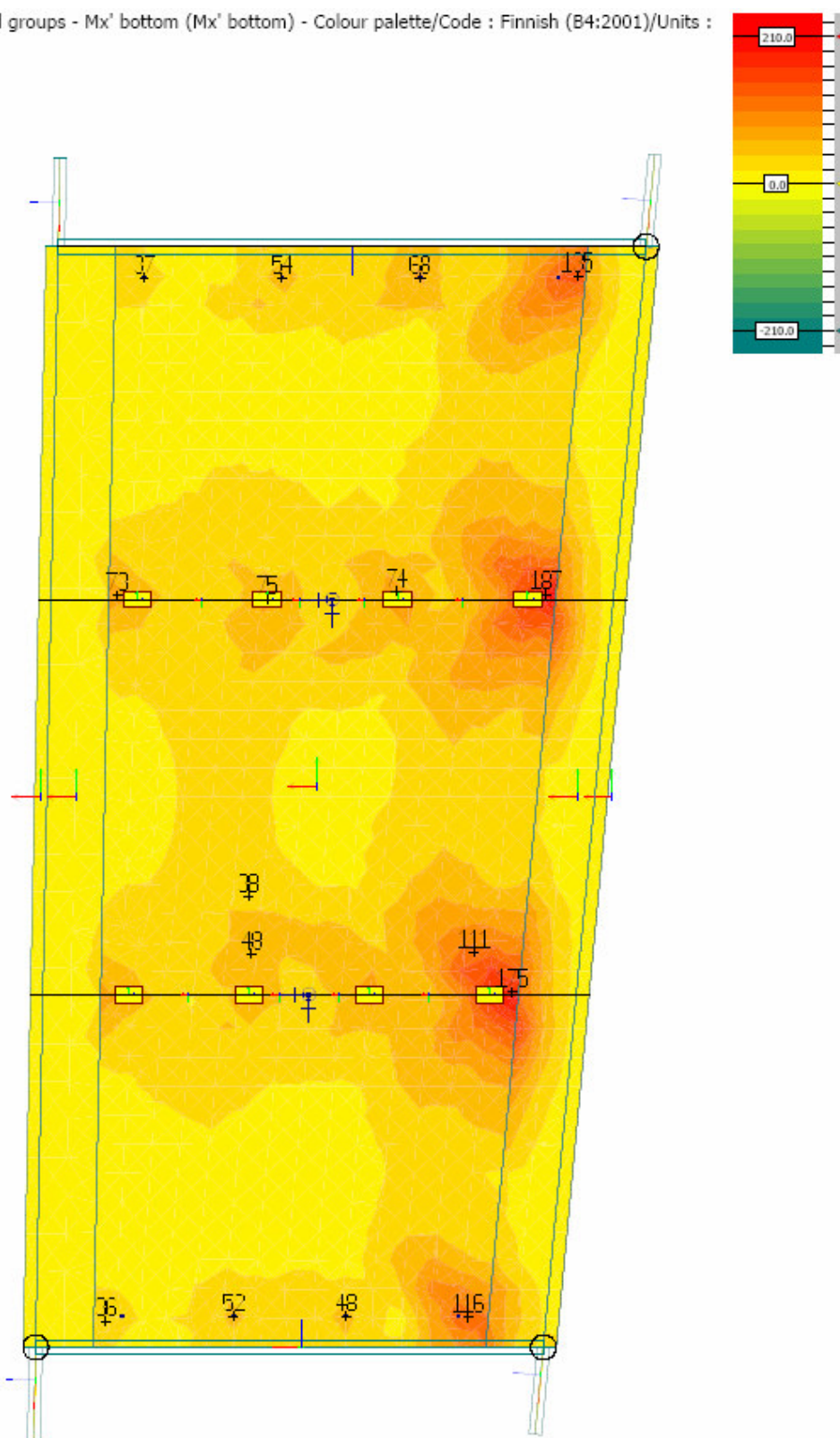
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:09:00
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 21

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



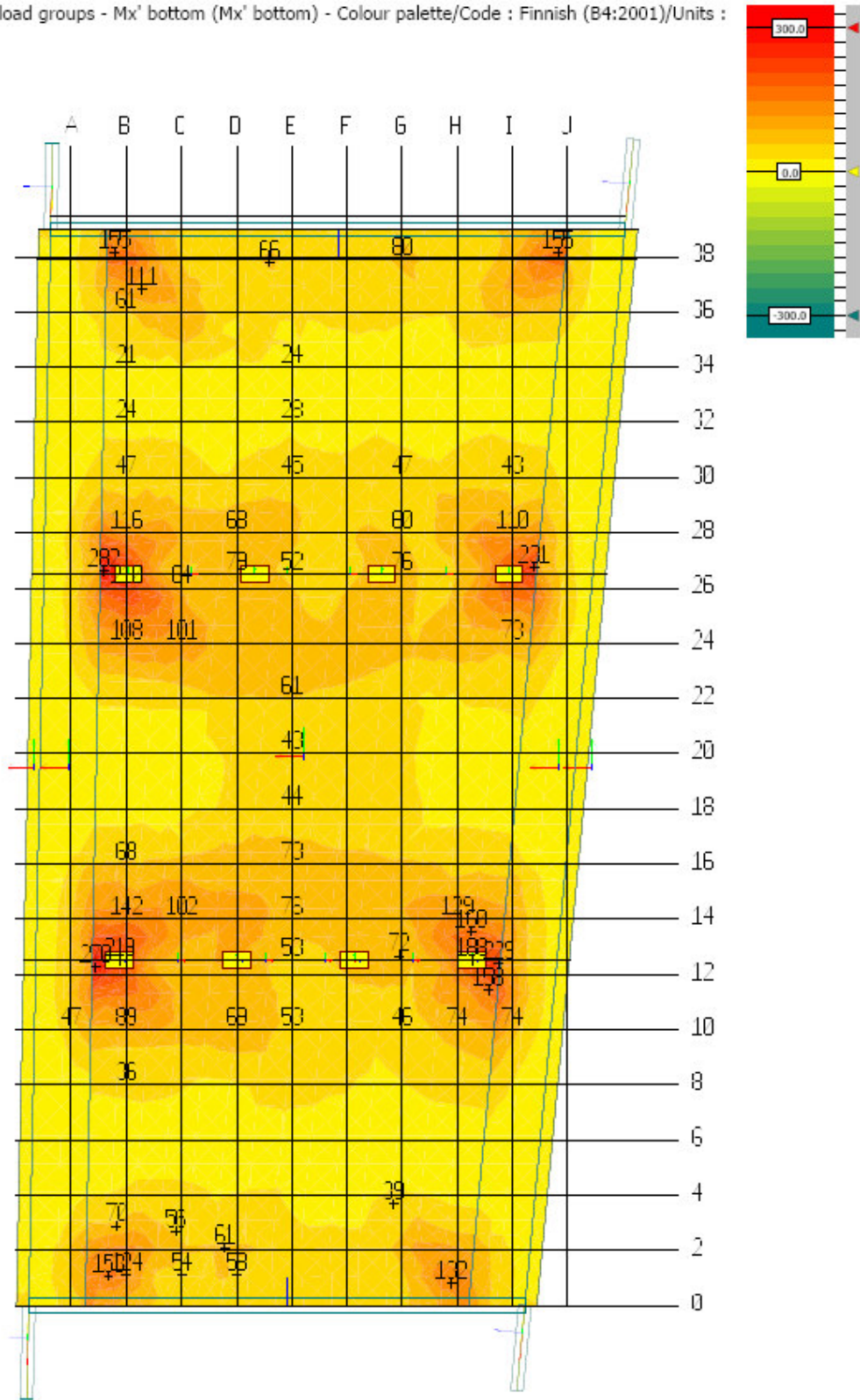
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_pitkaaik.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:16:34
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 22

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



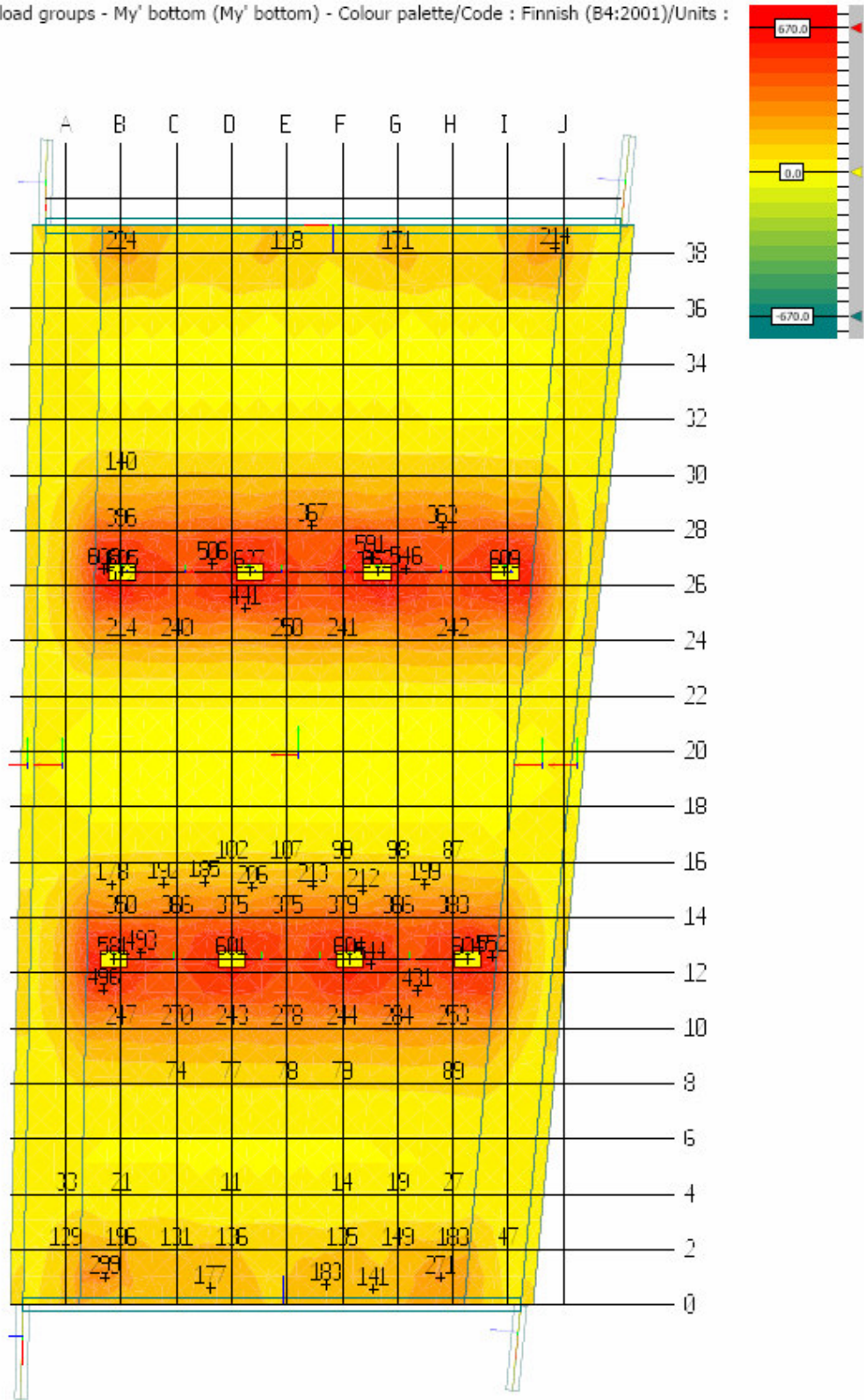
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:27:24
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 23

Maximum of load groups - Mx' bottom (Mx' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



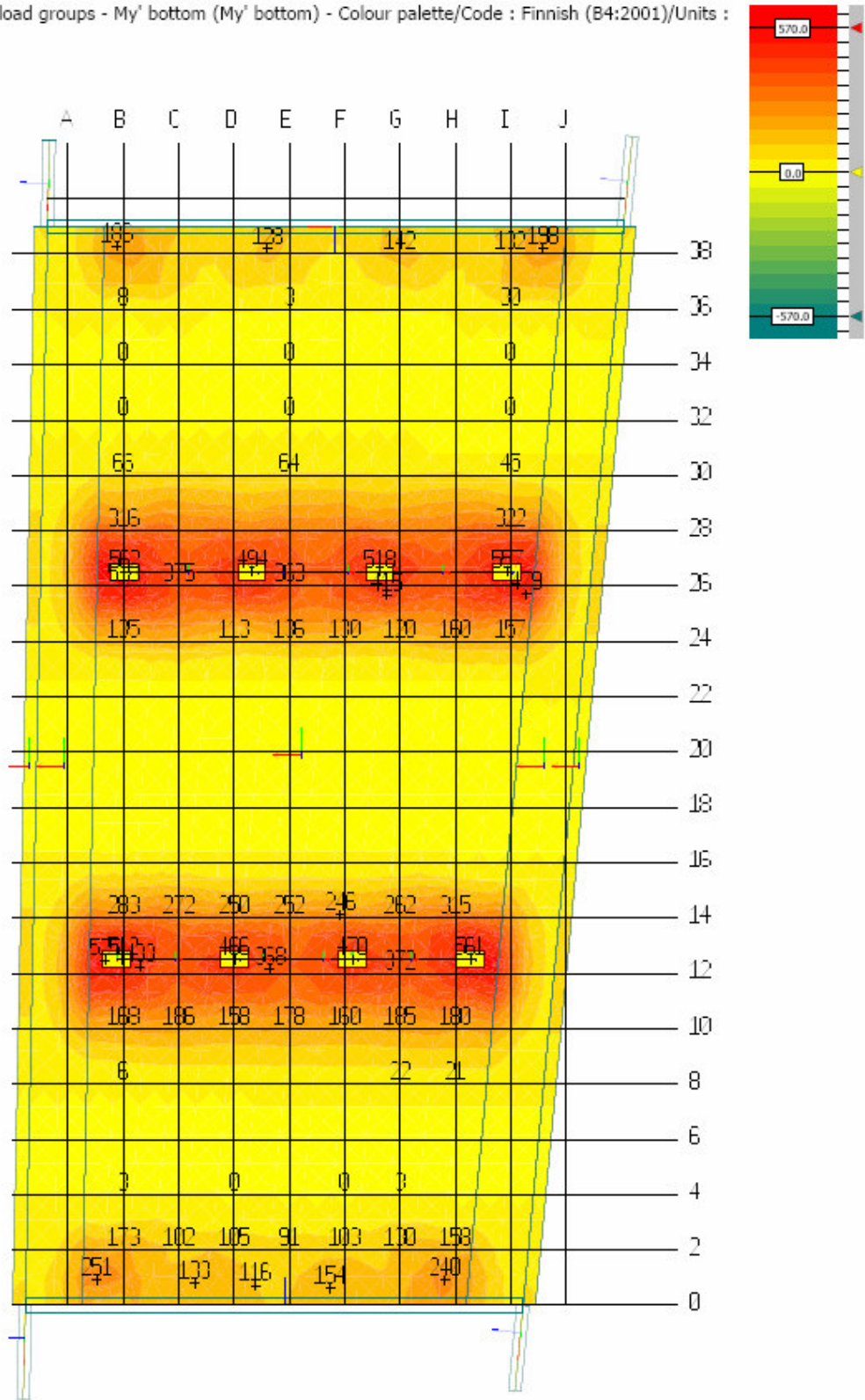
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:36:32
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 24

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



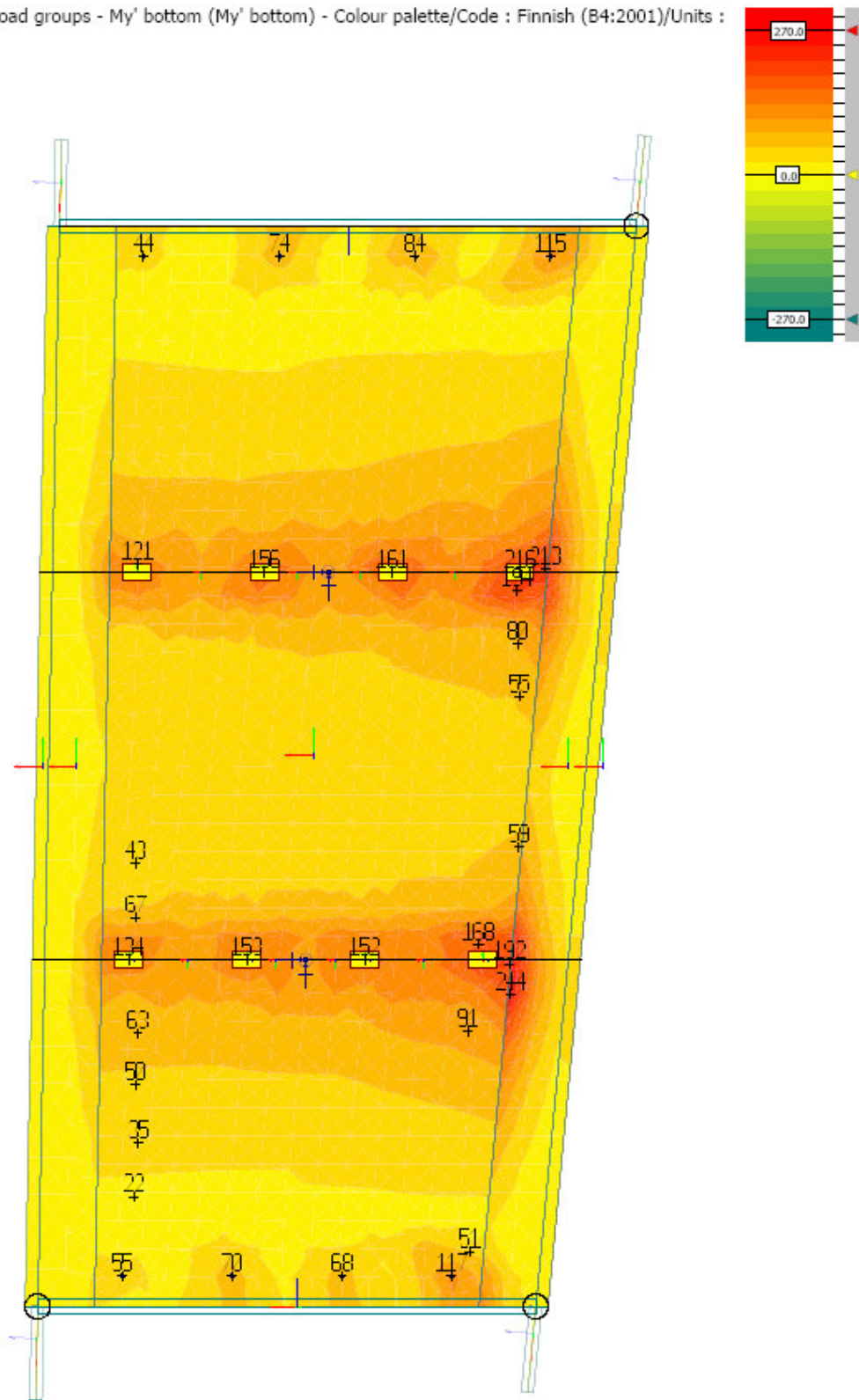
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:11:08
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 25

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



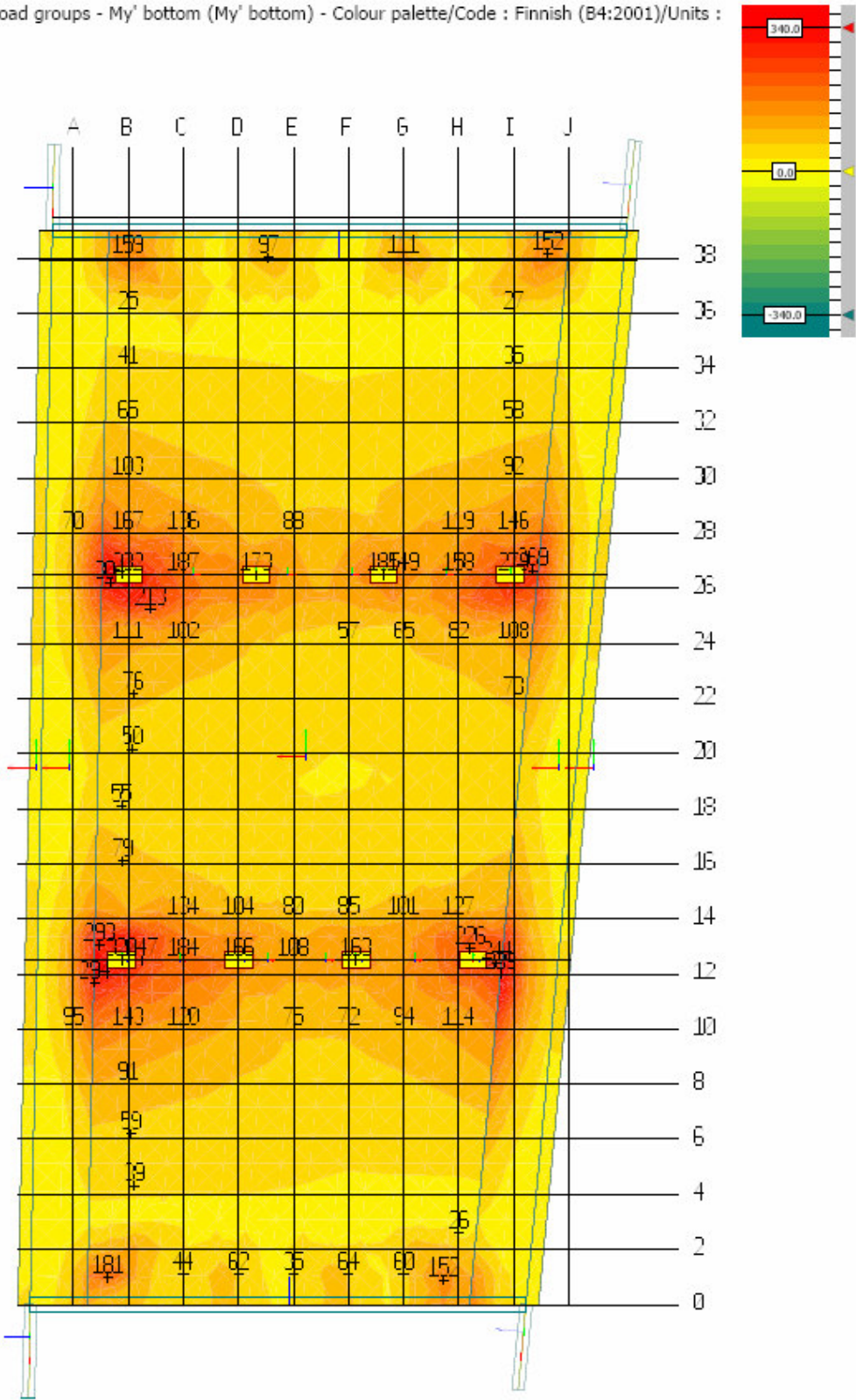
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_pitkaaik.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:20:03
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 26

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



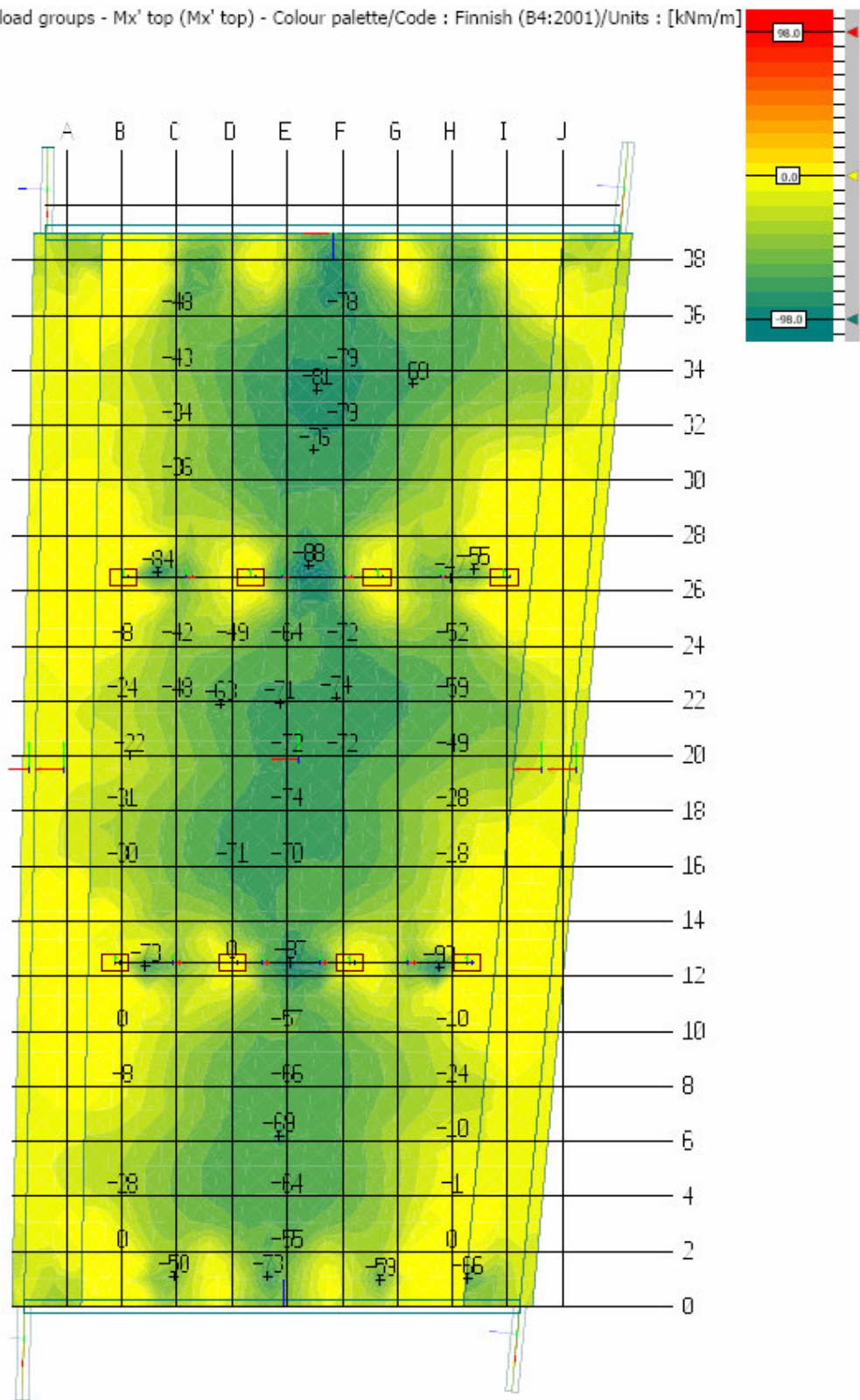
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:28:56
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 27

Maximum of load groups - My' bottom (My' bottom) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



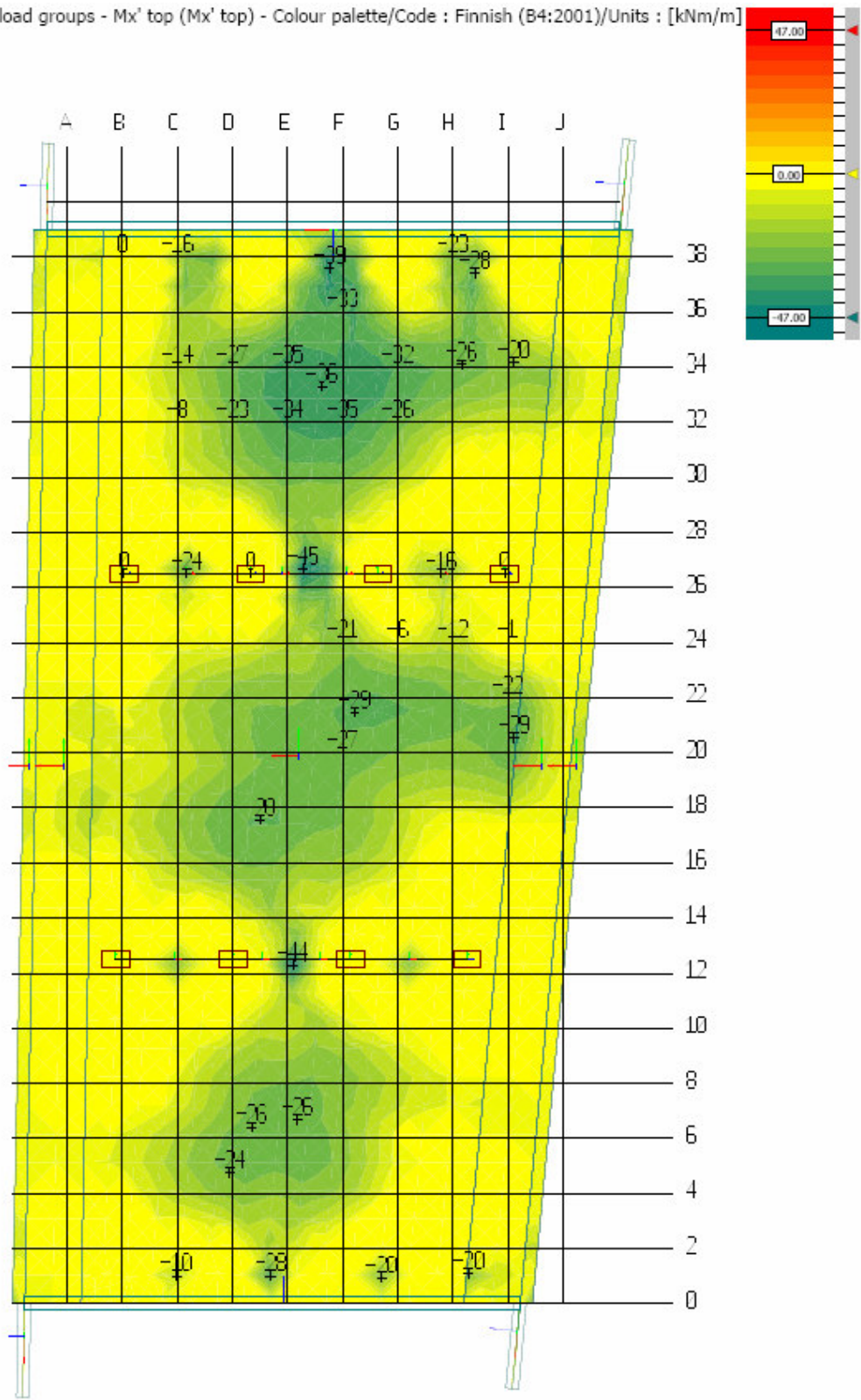
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:37:55
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 28

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



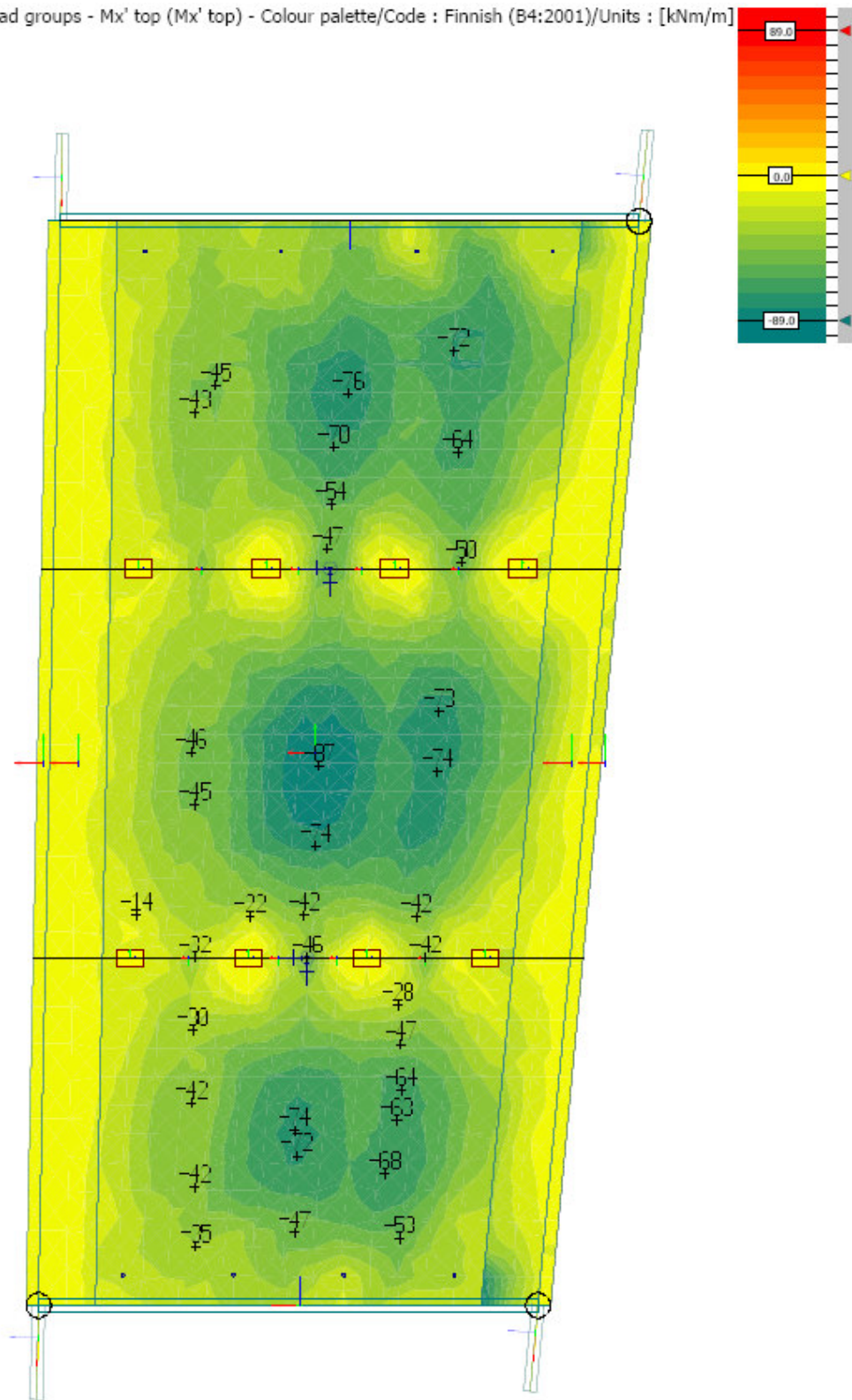
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:12:38
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 29

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



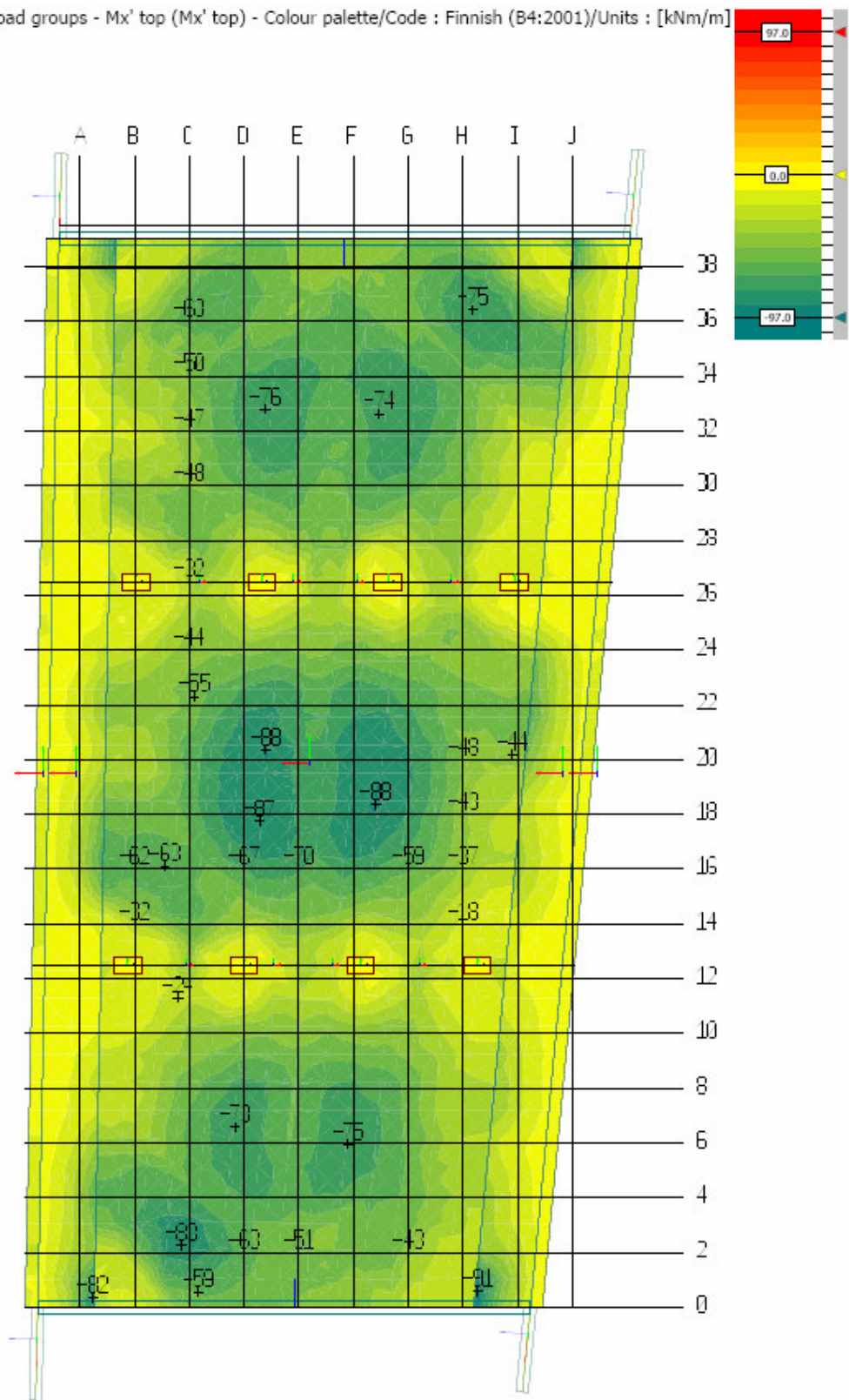
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_pitkaaik.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:21:25
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 30

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



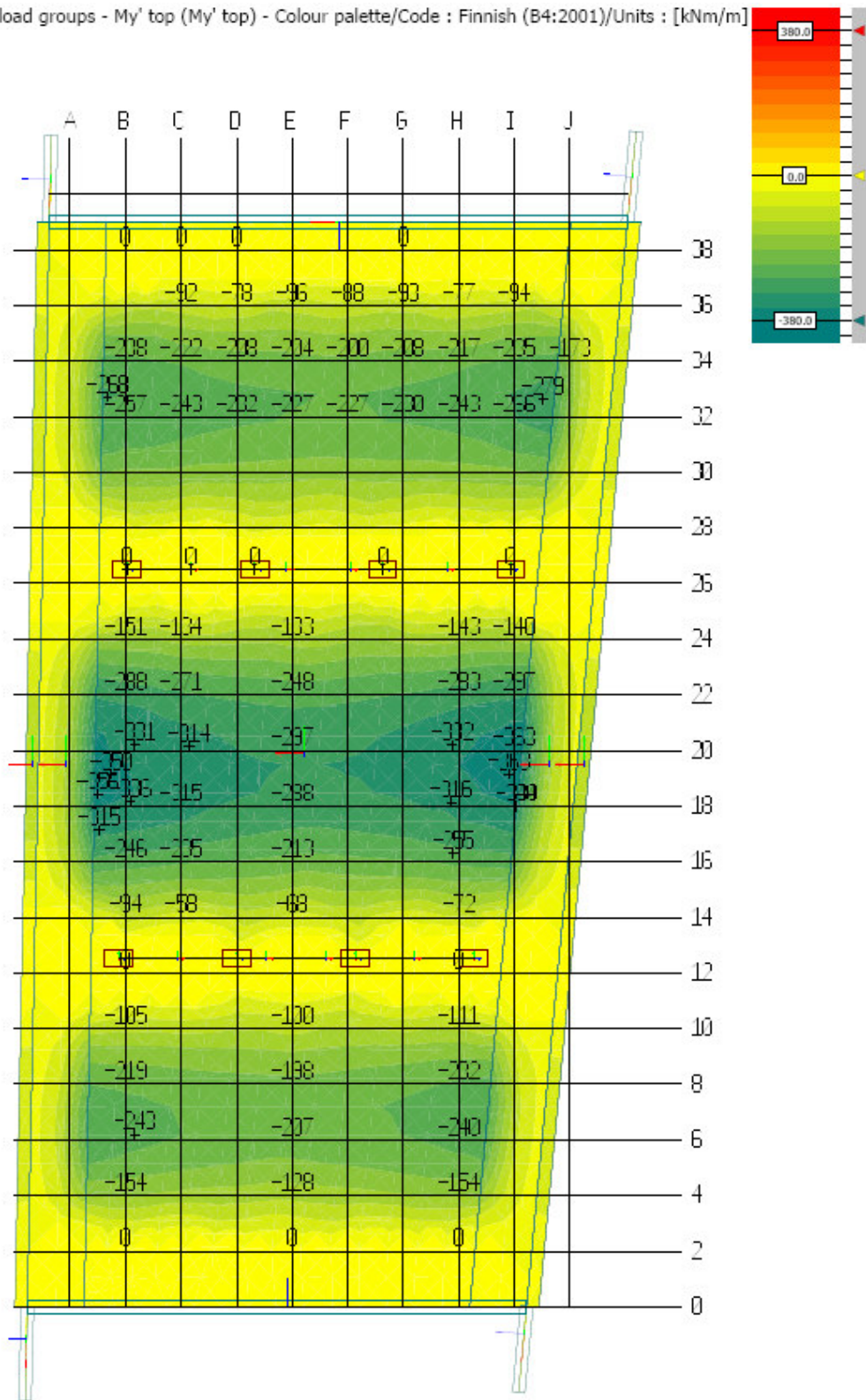
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:30:11
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 31

Maximum of load groups - Mx' top (Mx' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



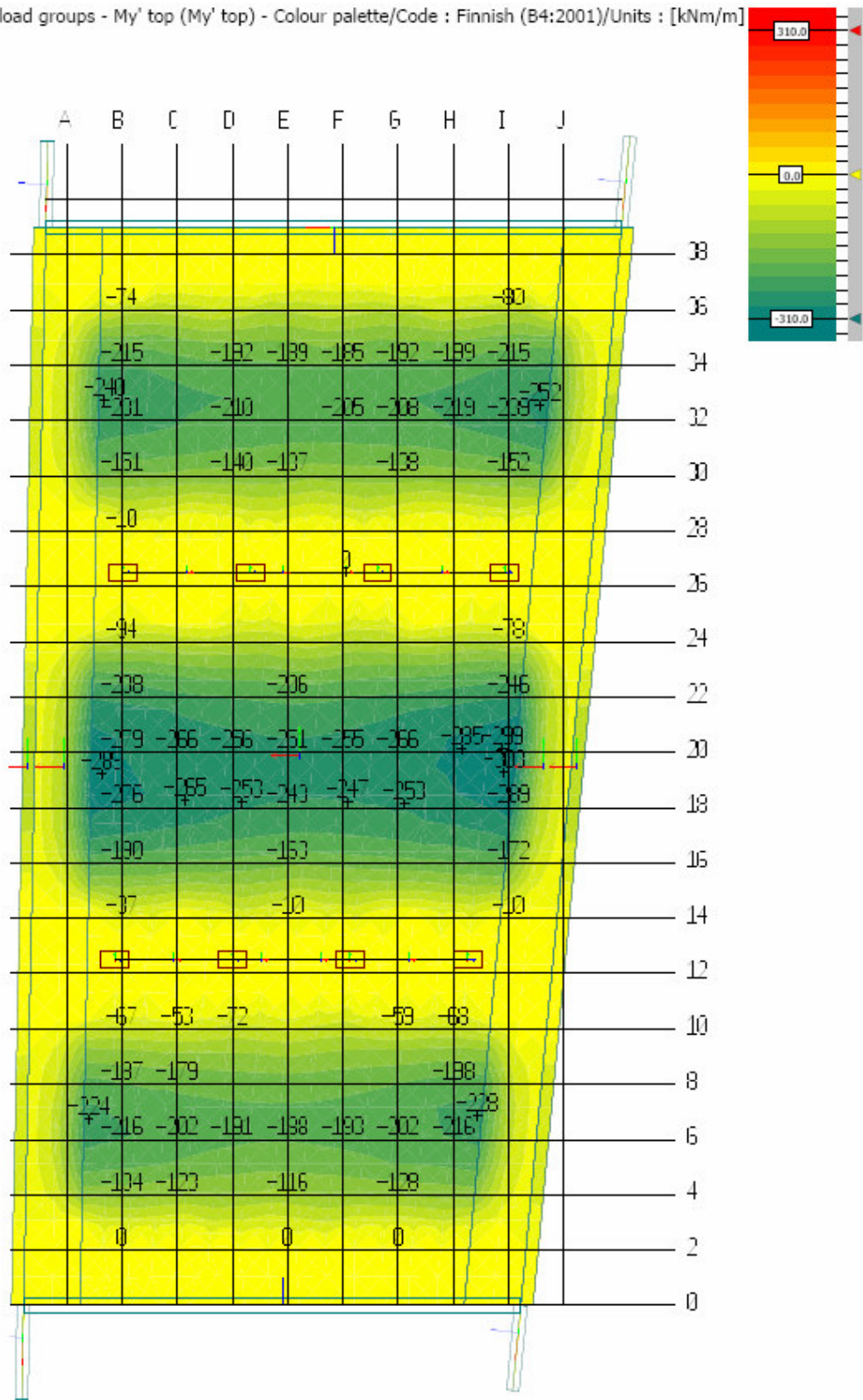
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:38:58
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 32

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



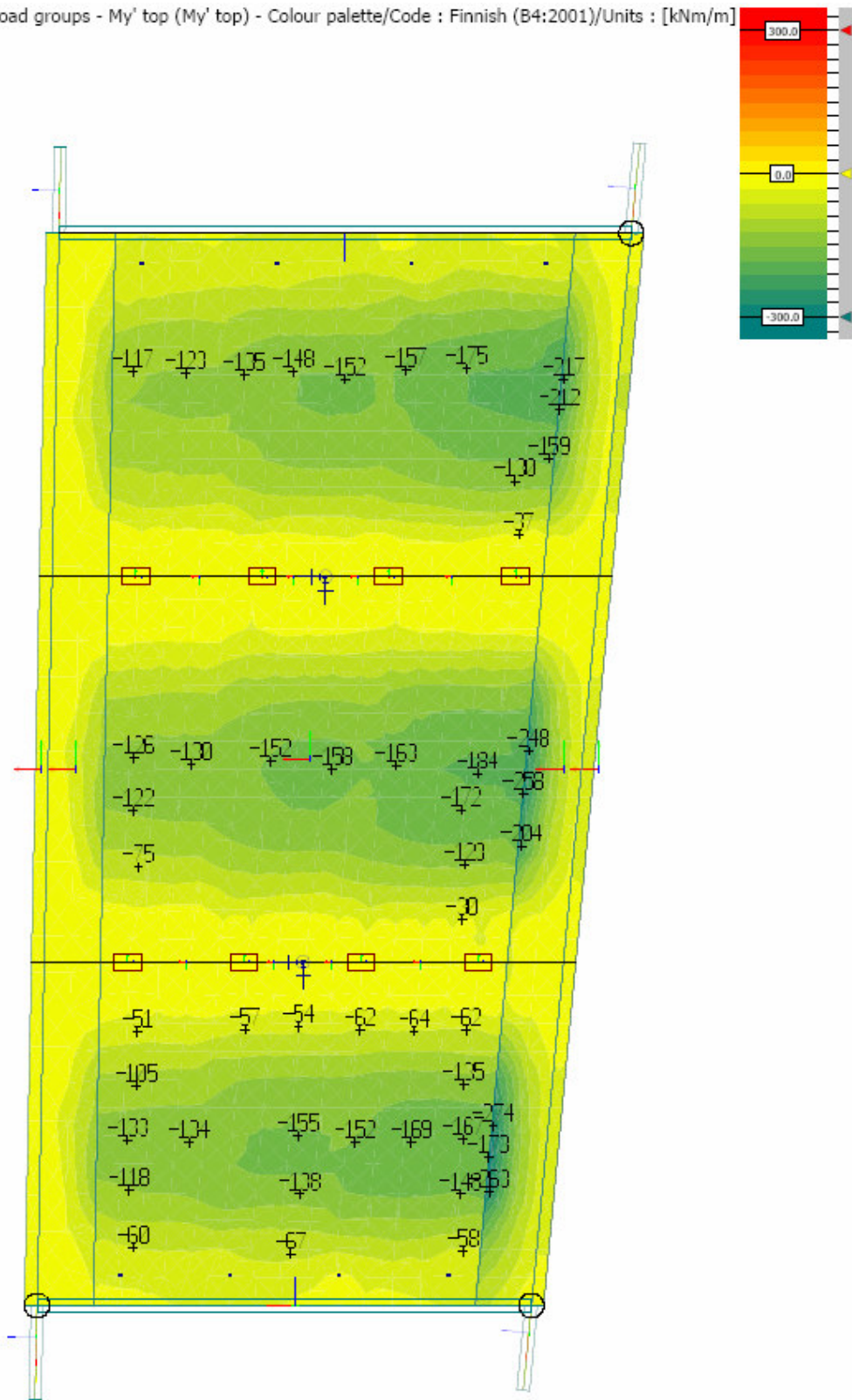
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:14:20
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 33

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



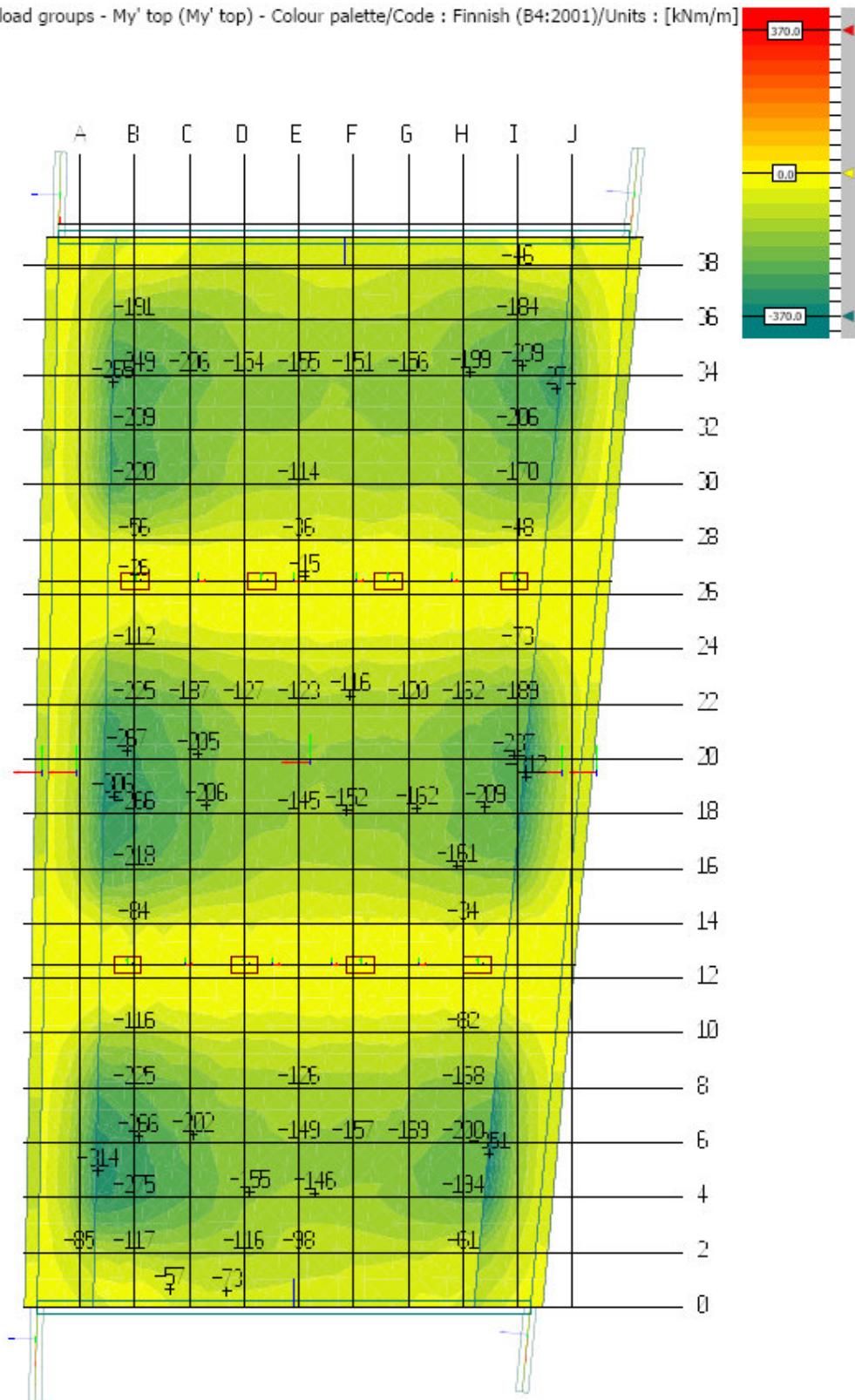
Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Pys-muut_KRT_pitkaaik.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:22:37
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 34

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa2_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:31:14
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 35

Maximum of load groups - My' top (My' top) - Colour palette/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [kNm/m]



Project		Scale	1 : 211
Description		File name	Lk-osa1_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/19/07 13:39:51
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 36

LAATAN LÄVISTYS, MRT, päätypilarit kesk.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$
Tehollinen korkeus d=	0,745		
Piiri	u= 4,225		
Ala	Au= 1,421	laakerin r + 0,5d	
Epäkesk.	e= 0,000		
	$\rho_x = 0,004396$	yp Ø25 k150	
	$\rho_y = 0,002813$	yp Ø20 k150	
	$\rho = 0,00351645$		
	$\beta = 0,4$		
Vd=	2,8 MN		
Mdvast=	0 MNm		

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :

Leikkausraudoittamaton rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 0,8555 \quad \underline{V_c= 2,006 \text{ MN}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 1,0 \quad \underline{V_c= 2,345 \text{ MN}}$$

$$\underline{V_c= 2,006 \text{ MN}} < \underline{V_d= 2,800 \text{ MN}}$$

=> TARKASTETAAN LEIKKAUSRAUDOITETTUNA :

Mitoitusehto :

$$V_d < (0.25 V_c + V_s) < 2 V_c$$

$$V_s = A_{sv} f_{yd} \sin\phi$$

$$f_{yd} = 300$$

$$\sin\phi = 1$$

$$A_{sv} = 8000$$

Ø12 yht.71 leikettä

$$V_s= 2,400 \text{ MN}$$

$$V_c= 2,345 \text{ MN}$$

$$2 V_c = 4,690 \text{ MN}$$

$$V_d= 2,800 \text{ MN}$$

OK !

$$\underline{0.25 V_c + V_s = 2,986 \text{ MN}} > \underline{V_d= 2,800 \text{ MN}}$$

=> LEIKKAUSRAUDOITUS RIITTÄÄ, EI LÄVISTY !

Leikkautuvan kartion alueella tarvittava kokonaisteräsmäärä :

$$V_s \text{ vaad} = 2,214 \text{ MN} \quad \underline{A_{sv} \text{ vaad} = 7379 \text{ mm}^2}$$

Esim. Ø = 12 tarvitaan yht. 65 leikettä

LAATAN LÄVISTYS, MRT, päätypilarit reun.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$
Tehollinen korkeus d=	0,745		
Piiri	u= 4,225		
Ala	Au= 1,421	laakerin r + 0,5d	
Epäkesk.	e= 0,000		
	$\rho_x= 0,004396$	yp Ø25 k150	
	$\rho_y= 0,002813$	yp Ø20 k150	
	$\rho= 0,00351645$		
	$\beta= 0,4$		
Vd=	3,941 MN		
Mdvast=	0 MNm		

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :

Leikkausraudoittamaton rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 0,8555 \quad \underline{V_c= 2,006 \text{ MN}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 1,0 \quad \underline{V_c= 2,345 \text{ MN}}$$

$$\underline{V_c= 2,006 \text{ MN}} < \underline{V_d= 3,941 \text{ MN}}$$

=> TARKASTETAAN LEIKKAUSRAUDOITETTUNA :

Mitoitusehto :

$$V_d < (0.25 V_c + V_s) < 2 V_c$$

$$V_s = A_{sv} f_{yd} \sin\alpha$$

$$f_{yd} = 300$$

$$\sin\alpha = 1$$

$$A_{sv} = 11500$$

Ø12 yht.102 leikettä

$$V_s= 3,450 \text{ MN}$$

$$V_c= 2,345 \text{ MN}$$

$$2 V_c = 4,690 \text{ MN}$$

$$V_d= 3,941 \text{ MN}$$

OK !

$$\underline{0.25 V_c + V_s = 4,036 \text{ MN}} > \underline{V_d= 3,941 \text{ MN}}$$

=> LEIKKAUSRAUDOITUS RIITTÄÄ, EI LÄVISTY !

Leikkautuvan kartion alueella tarvittava kokonaisteräsmäärä :

$$V_s \text{ vaad} = 3,355 \text{ MN} \quad \underline{A_{sv} \text{ vaad} = 11182 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Esim. } \varnothing = 12$$

tarvitaan yht. 99 leikettä

MITOITUS LEIKKAUKSELLE, MRT, päätytuot reun.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$\gamma_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$\gamma_c= 1,35$	$\gamma_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

SUORAKAIDEPOIKKILEIKKAUS

Tehollinen korkeus d= 0,745 m

Määräävä leveys $b_w= 1,000$ mVetoraudoitus $A_s = 1571 \text{ mm}^2$ $\rho = A_s/b_w \cdot d = 0,00211$ **RAKENTEEN LEIKKAUSKAPASITEETIN YLÄRAJA :** $V_{max} = k b_w d f_{cd} = 3,378 \text{ MN}$ $k = 0,25$ **BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :****Leikkausraudoittamaton rakenne :** $V_{co} = 0.3 k (1+50\rho) f_{ctd} b_w d$ $k = 0,8555$ $V_{co} = 0,33484 \text{ MN}$ **Leikkausraudoitettu rakenne :** $V_c = 0.8 0.5 f_{ctd} b_w d$ $V_c = 0,472 \text{ MN}$ **LEIKKAUSRAUDOITUS, MINIMIHAAT :** $A_{sv} / A_c = 0.25 (f_{ctk} / f_{yk}) \sin \alpha$ $\alpha = 90$ $A_{sv} = n A_{st}$ $A_c = b_w s$ $A_{svmin} = 1070 \text{ mm}^2/\text{m}$ Teräs $\emptyset = 12$ Leike $n = 2,5$ $\Rightarrow s < 264 \text{ mm}$ Minimihakojen kapas. $V_s = 0.9 f_{yd} A_{svmin} d \sin \alpha = 0,326 \text{ MN}$ **LEIKKAUSHAKOJEN MITOITUS :**

d:n päässä tuelta, mitoittava arvo

 $V_d = 1,213 \text{ MN}$ $V_c = 0,472 \text{ MN}$ $V_{s_{vaad}} = V_d - V_c = 0,741 \text{ MN}$ $A_{sv_{vaad}} = 2433 \text{ mm}^2/\text{m}$ \Rightarrow Teräs $\emptyset = 12$ Leike $n = 2,5$
leikkaushaataat $\Rightarrow s < 116 \text{ mm}$ **VALITTU LEIKKAUSRAUDOITUS :**

leikkaushaataat

Teräs $\emptyset = 12$ Leike $n = 4$ $s = 100 \text{ mm}$ Leikkaushakojen kapas. $V_s = 0.9 f_{yd} A_{sv} / s d \sin \alpha = 1,378 \text{ MN}$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE, MRT, päätytuot kesk.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$\gamma_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$\gamma_c= 1,35$	$\gamma_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

SUORAKAIDEPOIKKILEIKKAUS

Tehollinen korkeus d=	0,745 m		
Määräävä leveys b_w =	1,000 m		
Vetoraudoitus A_s =	1571 mm ²	$\rho = A_s/b_w \cdot d =$	0,00211

RAKENTEEN LEIKKAUSKAPASITEETIN YLÄRAJA :

$$V_{umax} = k b_w d f_{cd} = \underline{\underline{3,378 \text{ MN}}} \quad k = 0,25$$

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :**Leikkausraudoittamaton rakenne :**

$$V_{co} = 0.3 k (1+50\rho) f_{ctd} b_w d \quad k = 0,8555 \quad \underline{\underline{V_{co} = 0,33484 \text{ MN}}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = 0.8 0.5 f_{ctd} b_w d \quad \underline{\underline{V_c = 0,472 \text{ MN}}}$$

LEIKKAUSRAUDOITUS, MINIMIHAAT :

$$A_{sv} / A_c = 0.25 (f_{ctk} / f_{yk}) \sin \alpha \quad \alpha = 90$$

$$A_{sv} = n A_{st} \quad A_c = b_w s \quad \underline{\underline{A_{svmin} = 1070 \text{ mm}^2/\text{m}}}$$

Teräs Ø = 12

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad \Rightarrow \quad s < \underline{\underline{264 \text{ mm}}}$$

$$\text{Minimihakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{svmin} d \sin \alpha = \underline{\underline{0,326 \text{ MN}}}$$

LEIKKAUSHAKOJEN MITOITUS :

d:n päässä tuelta, mitoittava arvo

$$V_d = 0,505 \text{ MN} \quad V_c = 0,472 \text{ MN}$$

$$V_{s_{vaad}} = V_d - V_c = 0,033 \text{ MN}$$

$$A_{sv_{vaad}} = \underline{\underline{108 \text{ mm}^2/\text{m}}} \Rightarrow \text{Teräs } \emptyset = 12 \quad \text{Leike } n = 2,5$$

$$\Rightarrow \text{MINIMIHAAT !} \quad \Rightarrow \quad s < \underline{\underline{2614 \text{ mm}}}$$

VALITTU LEIKKAUSRAUDOITUS : \Rightarrow MINIMIHAAT !

Teräs Ø = 12

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad s = \underline{\underline{250 \text{ mm}}}$$

$$\text{Leikkaushakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{sv} / s d \sin \alpha = \underline{\underline{0,344 \text{ MN}}}$$

HALKEAMALEVEYDEN TARKISTUS, KRT

Halkeamaleveydet c_{\min} B4:n ja TIEL:n ohjeen mukaan :

$w_k \leq 0,30 \text{ mm}$ lyhytaikaiskuormilla

$w_k \leq 0,20 \text{ mm}$ pitkäaikaiskuormilla

KANSI:

$$W_{ksall} \leq W_k \cdot (c / c_{min}) \quad , j\text{oissa } c / c_{min} \leq 1.5 \quad c_{min} = 35 \text{ mm}$$

alapinnassa c = $35+12 = 47$ mm

yläpinnassa c = $35+12 = 47$ mm

Sallitut halkeamaleveydet vastaavasti c / c_{\min} suhteella korjattuna:

Alapinta: $w_k \leq 0,40 \text{ mm}$ Yläpinta: $w_k \leq 0,40 \text{ mm}$

$$w_k \leq 0,27 \text{ mm}$$

MITOITUSYHTÄLÖT :

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt[3]{(1 + 2/\alpha_{ep})} - 1) \quad \Rightarrow \quad x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt[3]{(1 + 2/\alpha_{ep})} - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$\sigma_s = M_k / (z_s * A_s)$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} \qquad A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s)$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s \quad k_w = 0,085$$

$$w_k = \varepsilon_s^* (3.5^* c + k_w^* \phi / \rho_r) \leq w_{k\text{sal}} \quad k_w = 0,085$$

Betoni K= 35 lyhytaik. $E_c = 29580 \text{ MN/m}^2$ $h_e = 451 \text{ mm}$

pitkäaik. $E_{cc} = E_c / (1 + \emptyset)$ $k_{ch} = 0,7124$

Ecc= 12199 MN/m² Øo = 2

$$f_{\text{GfK}} = 2,14 \text{ MN/m}^2 \quad \emptyset = 1,4247$$

Teräs A500H $E_s = 2,00E+05 \text{ MN/m}^2$

Halkeamaleveys T1 ALAPINTA X-suunta

LYHYTAIKAINEN

$$M_k = 210,00 \text{ kNm}$$

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$b = 1000 \text{ mm}$ $h = 820 \text{ mm}$ $d = 765 \text{ mm}$

$$\Rightarrow W_{ce} = W_{vp} = W_{ap} = 0,112067 \text{ m}^3$$

Raudoitus $A_s = 1005,31 \text{ mm}^2$ $\emptyset = 16$ k/k 200

$$\alpha_{ep} = 0,008885 \quad x = 95 \text{ mm} \quad z = 733 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 285 \text{ N/mm}^2 \quad A_{ce} = 175000 \text{ mm}^2 \quad \rho_r = 0,0057446$$

$$M_r = 408 \text{ kNm} \qquad \sigma_{sr} = 553 \text{ N/mm}^2$$

$$0.7^* \sigma_s / E_s = 9.97\text{E-}04 \quad > \quad \varepsilon_s = -0.001102 \quad < \quad \sigma_s / E_s = 0.001425$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000997 \quad w_k = 0,40 \text{ mm} < w_{k\text{all}} = 0,40 \text{ mm}$$

PITKÄAIKAINEN

$M_k = 135,00 \text{ kNm}$

$$\text{Raudoitus} \quad A_s = 1005,31 \text{ mm}^2 \quad \emptyset = 16 \quad k/k \quad 200$$

$$\alpha_e \rho = 0,021544 \quad x = 143 \text{ mm} \quad z = 717 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 187 \text{ N/mm}^2 \quad A_{ce} = 175000 \text{ mm}^2 \quad \rho_r = 0,0057446$$

$$M_r = 408 \text{ kNm} \quad \sigma_{sr} = 565 \text{ N/mm}^2$$

$$0,7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000655 > \quad \varepsilon_s = -0,003081 < \quad \sigma_s / E_s = 0,000936$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000655 \quad w_k = 0,263 \text{ mm} < \quad w_{ksall} = 0,27 \text{ mm}$$

HALKEAMALEVEYDEN TARKISTUS, KRT

Halkeamaleveydet c_{min} B4:n ja TIEL:n ohjeen mukaan :

$$w_k \leq 0,30 \text{ mm} \quad \text{lyhytaikaikuormilla}$$

$$w_k \leq 0,20 \text{ mm} \quad \text{pitkäaikaikuormilla}$$

KANSI:

$$w_{ksall} \leq w_k * (c / c_{min}) \quad , \text{jossa } c / c_{min} \leq 1.5$$

$$c_{min} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{alapinnassa } c = 35 + 12 + 16 = 63 \text{ mm}$$

$$\text{yläpinnassa } c = 35 + 12 + 16 = 63 \text{ mm}$$

Sallitut halkeamaleveydet vastaavasti c / c_{min} suhteella korjattuna:

$$\text{Alapinta: } w_k \leq 0,45 \text{ mm} \quad \text{Yläpinta: } w_k \leq 0,45 \text{ mm}$$

$$w_k \leq 0,30 \text{ mm} \quad w_k \leq 0,30 \text{ mm}$$

MITOITUSYHTÄLÖT :

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$x / d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) \quad \Rightarrow \quad x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$\sigma_s = M_k / (z_s * A_s)$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} \quad A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) \quad M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s \quad k_w = 0,085$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) \leq w_{ksall} \quad k_w = 0,085$$

Betoni K= 35

lyhytaik.
pitkäaik.

$$E_c = 29580 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{cc} = E_c / (1 + \emptyset)$$

$$E_{cc} = 12199 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ctk} = 2,14 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 2,00E+05 \text{ MN/m}^2$$

$$h_e = 451 \text{ mm}$$

$$k_{ch} = 0,7124$$

$$\emptyset_o = 2$$

$$\emptyset = 1,4247$$

Teräs A500H

Halkeamaleveys T1 ALAPINTA Y-suunta

LYHYTAIKAINEN

$$M_k = 190,00 \text{ kNm}$$

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 820 \text{ mm} \quad d = 747 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow W_{ce} = W_{yp} = W_{ap} = 0,112067 \text{ m}^3$$

$$\text{Rauditus } A_s = 1005,31 \text{ mm}^2 \quad \emptyset = 16 \quad k/k = 200$$

$$\alpha_{ep} = 0,009099 \quad x = 94 \text{ mm} \quad z = 716 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 264 \text{ N/mm}^2 \quad A_{ce} = 191000 \text{ mm}^2 \quad \rho_r = 0,0052634$$

$$M_r = 408 \text{ kNm} \quad \sigma_{sr} = 567 \text{ N/mm}^2$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,000924 > \varepsilon_s = -0,001541 < \sigma_s / E_s = 0,001321$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000924 \quad w_k = 0,44 \text{ mm} < w_{ksall} = 0,45 \text{ mm}$$

PITKÄAIKAINEN

$M_k = 125,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $A_s = 1005,31 \text{ mm}^2$ $\emptyset = 16$ k/k 200

$\alpha_{ep} = 0,022063$ $x = 141 \text{ mm}$ $z = 700 \text{ mm}$

$\sigma_s = 178 \text{ N/mm}^2$ $A_{ce} = 191000 \text{ mm}^2$ $\rho_r = 0,0052634$

$M_r = 408 \text{ kNm}$ $\sigma_{sr} = 579 \text{ N/mm}^2$

$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000622 >$ $\epsilon_s = -0,003558 <$ $\sigma_s / E_s = 0,000888$

$\Rightarrow \epsilon_s = 0,000622$ $w_k = 0,30 \text{ mm} <$ $w_{ksall} = 0,30 \text{ mm}$

VASTAAVASTI SAADAAN:

Raudoitus $\emptyset = 20$ k/k 200 $M_{k,LYHYTAIK.} = 305,00 \text{ kNm}$

$M_{k,PITKÄAIK.} = 200,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 20$ k/k 150 $M_{k,LYHYTAIK.} = 470,00 \text{ kNm}$

$M_{k,PITKÄAIK.} = 300,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 25$ k/k 200 $M_{k,LYHYTAIK.} = 490,00 \text{ kNm}$

$M_{k,PITKÄAIK.} = 315,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 25$ k/k 150 $M_{k,LYHYTAIK.} = 640,00 \text{ kNm}$

$M_{k,PITKÄAIK.} = 475,00 \text{ kNm}$

HALKEAMALEVEYDEN TARKISTUS, KRT

Halkeamaleveydet c_{\min} B4:n ja TIEL:n ohjeen mukaan :

$$w_k \leq 0,30 \text{ mm} \quad \text{lyhytaikaikuormilla}$$

$$w_k \leq 0,20 \text{ mm} \quad \text{pitkäaikaikuormilla}$$

KANSI:

$$w_{ksall} \leq w_k * (c / c_{\min}) \quad , \text{jossa } c / c_{\min} \leq 1.5 \quad c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{alapinnassa } c = 35 + 12 = 47 \text{ mm}$$

$$\text{yläpinnassa } c = 35 + 12 = 47 \text{ mm}$$

Sallitut halkeamaleveydet vastaavasti c / c_{\min} suhteella korjattuna:

$$\text{Alapinta: } w_k \leq 0,40 \text{ mm} \quad \text{Yläpinta: } w_k \leq 0,40 \text{ mm}$$

$$w_k \leq 0,27 \text{ mm} \quad w_k \leq 0,27 \text{ mm}$$

MITOITUSYHTÄLÖT :

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$x / d = \alpha_e \rho * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) \quad \Leftrightarrow \quad x = d * \alpha_e \rho * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$\sigma_s = M_k / (z_s * A_s)$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} \quad A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) \quad M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w)] * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 > 0.7 * \sigma_s / E_s \quad k_w = 0,085$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) \leq w_{ksall} \quad k_w = 0,085$$

$$\text{Betoni } K = 35 \quad \text{lyhytaik.} \quad E_c = 29580 \text{ MN/m}^2 \quad h_e = 451 \text{ mm}$$

$$\text{pitkäaik.} \quad E_{cc} = E_c / (1 + \emptyset) \quad k_{ch} = 0,7124$$

$$E_{cc} = 12199 \text{ MN/m}^2 \quad \emptyset_o = 2$$

$$f_{ctk} = 2,14 \text{ MN/m}^2 \quad \emptyset = 1,4247$$

$$\text{Teräs A500H} \quad E_s = 2,00E+05 \text{ MN/m}^2$$

Halkeamaleveys T1 YLÄPINTA X-suunta

$$\text{LYHYTAIKAINEN} \quad M_k = 1100,00 \text{ kNm}$$

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 820 \text{ mm} \quad d = 775 \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow \quad W_{ce} = W_{yp} = W_{ap} = 0,112067 \text{ m}^3$$

$$\text{Rauditus} \quad A_s = 4908,739 \text{ mm}^2 \quad \emptyset = 25 \quad k/k = 100$$

$$\alpha_e \rho = 0,042825 \quad x = 196 \text{ mm} \quad z = 710 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 316 \text{ N/mm}^2 \quad A_{ce} = 247000 \text{ mm}^2 \quad \rho_r = 0,0198734$$

$$M_r = 408 \text{ kNm} \quad \sigma_{sr} = 117 \text{ N/mm}^2$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,001105 < \quad \varepsilon_s = 0,001477 < \quad \sigma_s / E_s = 0,001579$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,001477 \quad w_k = 0,40 \text{ mm} < \quad w_{ksall} = 0,40 \text{ mm}$$

<u>PITKÄAIKAINEN</u>		$M_k =$	760,00 kNm		
Raudoitus	$A_s =$	4908,739 mm ²	$\varnothing =$	25	k/k 100
$\alpha_e \rho =$	0,103838	$x =$	282 mm	$z =$	681 mm
$\sigma_s =$	227	N/mm ²	$A_{ce} =$	247000 mm ²	$\rho_r =$ 0,0198734
$M_r =$	408	kNm	$\sigma_{sr} =$	122 N/mm ²	
$0.7 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000796	<	$\epsilon_s =$	0,000983	< $\sigma_s / E_s =$ 0,001137
$\Rightarrow \epsilon_s =$	0,000983	$w_k =$	0,27 mm	<	$w_{ksall} =$ 0,27 mm

VASTAAVASTI SAADAAN:

Raudoitus	$\emptyset =$	16	k/k	200	$M_{k,LYHYTAIK.} =$	210,00 kNm
					$M_{k,PITKÄAIK.} =$	140,00 kNm
Raudoitus	$\emptyset =$	20	k/k	200	$M_{k,LYHYTAIK.} =$	340,00 kNm
					$M_{k,PITKÄAIK.} =$	220,00 kNm
Raudoitus	$\emptyset =$	20	k/k	150	$M_{k,LYHYTAIK.} =$	520,00 kNm
					$M_{k,PITKÄAIK.} =$	340,00 kNm
Raudoitus	$\emptyset =$	25	k/k	200	$M_{k,LYHYTAIK.} =$	525,00 kNm
					$M_{k,PITKÄAIK.} =$	345,00 kNm
Raudoitus	$\emptyset =$	25	k/k	150	$M_{k,LYHYTAIK.} =$	695,00 kNm
					$M_{k,PITKÄAIK.} =$	520,00 kNm

HALKEAMALEVEYDEN TARKISTUS, KRT, kapasiteetti

Halkeamaleveydet c_{\min} B4:n ja TIEL:n ohjeen mukaan :

$$w_k \leq 0,30 \text{ mm} \quad \text{lyhytaikaikuormilla}$$

$$w_k \leq 0,20 \text{ mm} \quad \text{pitkäaikaikuormilla}$$

KANSI:

$$w_{ksall} \leq w_k * (c / c_{\min}) \quad , \text{jossa } c / c_{\min} \leq 1.5 \quad c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{alapinnassa } c = 35 + 12 + 20 = 67 \text{ mm}$$

$$\text{yläpinnassa } c = 35 + 12 + 20 = 67 \text{ mm}$$

Sallitut halkeamaleveydet vastaavasti c / c_{\min} suhteella korjattuna:

$$\text{Alapinta: } w_k \leq 0,45 \text{ mm} \quad \text{Yläpinta: } w_k \leq 0,45 \text{ mm}$$

$$w_k \leq 0,30 \text{ mm} \quad w_k \leq 0,30 \text{ mm}$$

MITOITUSYHTÄLÖT :

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$x / d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) \quad \Rightarrow \quad x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$\sigma_s = M_k / (z_s * A_s)$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} \quad A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) \quad M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s \quad k_w = 0,085$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) \leq w_{ksall} \quad k_w = 0,085$$

$$\text{Betoni } K = 35 \quad \text{lyhytaik.} \quad E_c = 29580 \text{ MN/m}^2 \quad h_e = 451 \text{ mm}$$

$$\text{pitkäaik.} \quad E_{cc} = E_c / (1 + \emptyset) \quad k_{ch} = 0,7124$$

$$E_{cc} = 12199 \text{ MN/m}^2 \quad \emptyset_o = 2$$

$$f_{ctk} = 2,14 \text{ MN/m}^2 \quad \emptyset = 1,4247$$

$$\text{Teräs A500H} \quad E_s = 2,00E+05 \text{ MN/m}^2$$

Halkeamaleveys T1 YLÄPINTA Y-suunta

LYHYTAIKAINEN

$$M_k = 950,00 \text{ kNm}$$

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 820 \text{ mm} \quad d = 753 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow W_{ce} = W_{yp} = W_{ap} = 0,112067 \text{ m}^3$$

$$\text{Rauditus} \quad A_s = 4908,739 \text{ mm}^2 \quad \emptyset = 25 \quad k/k = 100$$

$$\alpha_{ep} = 0,044105 \quad x = 193 \text{ mm} \quad z = 688 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 281 \text{ N/mm}^2 \quad A_{ce} = 267000 \text{ mm}^2 \quad \rho_r = 0,0183848$$

$$M_r = 408 \text{ kNm} \quad \sigma_{sr} = 121 \text{ N/mm}^2$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,000984 < \varepsilon_s = 0,001284 < \sigma_s / E_s = 0,001406$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,001284 \quad w_k = 0,45 \text{ mm} < w_{ksall} = 0,45 \text{ mm}$$

PITKÄAIKAINEN

$M_k = 670,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $A_s = 4908,739 \text{ mm}^2$ $\emptyset = 25$ k/k 100

$\alpha_{ep} = 0,106943$ $x = 277 \text{ mm}$ $z = 660 \text{ mm}$

$\sigma_s = 207 \text{ N/mm}^2$ $A_{ce} = 267000 \text{ mm}^2$ $\rho_r = 0,0183848$

$M_r = 408 \text{ kNm}$ $\sigma_{sr} = 126 \text{ N/mm}^2$

$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000724 <$ $\epsilon_s = 0,000854 <$ $\sigma_s / E_s = 0,001034$

$\Rightarrow \epsilon_s = 0,000854$ $w_k = 0,30 \text{ mm} <$ $w_{ksall} = 0,30 \text{ mm}$

VASTAAVASTI SAADAAN:

Raudoitus $\emptyset = 25$ k/k 150 $M_{k,LYHYTAIK.} = 625,00 \text{ kNm}$
 $M_{k,PITKÄAIK.} = 460,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 25$ k/k 200 $M_{k,LYHYTAIK.} = 475,00 \text{ kNm}$
 $M_{k,PITKÄAIK.} = 305,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 20$ k/k 200 $M_{k,LYHYTAIK.} = 300,00 \text{ kNm}$
 $M_{k,PITKÄAIK.} = 195,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 20$ k/k 150 $M_{k,LYHYTAIK.} = 455,00 \text{ kNm}$
 $M_{k,PITKÄAIK.} = 295,00 \text{ kNm}$

Raudoitus $\emptyset = 16$ k/k 200 $M_{k,LYHYTAIK.} = 185,00 \text{ kNm}$
 $M_{k,PITKÄAIK.} = 120,00 \text{ kNm}$

MITOITUS TAIVUTUKSELLE , MRT, poikittaissuuntainen momentti

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

Kenttä 1 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765 \text{ m}$$

$$M_d = 0,257 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0242$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0245$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,756$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 748 \text{ mm}^2$$

Ø 16	4 kpl	tai	k/k 269
tai Ø 20	3 kpl	tai	k/k 420

Kenttä 2 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765 \text{ m}$$

$$M_d = 0,288 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0271$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0275$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,754$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 840 \text{ mm}^2$$

Ø 16	5 kpl	tai	k/k 239
tai Ø 20	3 kpl	tai	k/k 374

Kenttä 3 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765 \text{ m}$$

$$M_d = 0,269 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0253$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0257$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,755$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 784 \text{ mm}^2$$

Ø 16	4 kpl	tai	k/k 257
tai Ø 20	3 kpl	tai	k/k 401

Tuki T1 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765$$

$$M_d = 0,286 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0269$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0273$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,755$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 834 \text{ mm}^2$$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 241
tai Ø	20	3 kpl	tai	k/k 377

Tuki T2 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765$$

$$M_d = 0,334 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0314$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0320$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,753$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 976 \text{ mm}^2$$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 206
tai Ø	20	4 kpl	tai	k/k 322

Tuki T3 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765$$

$$M_d = 0,335 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0315$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0321$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,753$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 979 \text{ mm}^2$$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 205
tai Ø	20	4 kpl	tai	k/k 321

Tuki T4 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,765 \text{ m}$$

$$M_d = 0,236 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0222$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0225$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,756$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 686 \text{ mm}^2$$

Ø	16	4 kpl	tai	k/k 293
tai Ø	20	3 kpl	tai	k/k 458

MITOITUS TAIVUTUKSELLE , MRT, poikittaissuuntainen momentti

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$	
Teräs	500	$f_{yk}= 500$		
Rakenneluokka =	1			
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$			
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$		
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$		
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$	

Kenttä 1 yläpinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,283 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0260$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0263$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,765$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 814 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{l} \text{Ø } 16 \quad 5 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 247 \\ \text{tai Ø } 20 \quad 3 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 386 \end{array}$$

Kenttä 2 yläpinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,287 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0263$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0267$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,765$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 826 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{l} \text{Ø } 16 \quad 5 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 243 \\ \text{tai Ø } 20 \quad 3 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 380 \end{array}$$

Kenttä 3 yläpinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,283 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0260$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0263$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,765$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 814 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{l} \text{Ø } 16 \quad 5 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 247 \\ \text{tai Ø } 20 \quad 3 \text{ kpl} \quad \text{tai} \quad \text{k/k } 386 \end{array}$$

Tuki T1 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,372 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0341$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0347$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,762$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1075 \text{ mm}^2$$

Ø 16	6 kpl	tai	k/k 187
tai Ø 20	4 kpl	tai	k/k 292

Tuki T1 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,533 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0489$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0502$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,756$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1552 \text{ mm}^2$$

Ø 20	5 kpl	tai	k/k 202
tai Ø 25	4 kpl	tai	k/k 316

Tuki T2 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775$$

$$M_d = 0,576 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0528$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0543$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,754$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1681 \text{ mm}^2$$

Ø 20	6 kpl	tai	k/k 187
tai Ø 25	4 kpl	tai	k/k 292

Tuki T2 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775$$

$$M_d = 1,199 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1100$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1168$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,730$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 3615 \text{ mm}^2$$

Ø 20	12 kpl	tai	k/k 87
tai Ø 25	8 kpl	tai	k/k 136

Tuki T3 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,617 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0566$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0583$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,752$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1804 \text{ mm}^2$$

Ø	20	6 kpl	tai	k/k 174
tai Ø	25	4 kpl	tai	k/k 272

Tuki T3 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 1,132 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1039$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1099$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,732$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 3400 \text{ mm}^2$$

Ø	20	11 kpl	tai	k/k 92
tai Ø	25	7 kpl	tai	k/k 144

Tuki T4 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,430 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0394$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0403$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,759$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1246 \text{ mm}^2$$

Ø	16	7 kpl	tai	k/k 161
tai Ø	20	4 kpl	tai	k/k 252

Tuki T4 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,775 \text{ m}$$

$$M_d = 0,553 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0507$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0521$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,755$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1612 \text{ mm}^2$$

Ø	20	6 kpl	tai	k/k 195
tai Ø	25	4 kpl	tai	k/k 305

MITOITUS TAIVUTUKSELLE , MRT, pituussuunt.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

Kenttä 1 alapinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 0,577 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0574$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0591$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,722$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1757 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{ll} \text{Ø } 20 & 6 \text{ kpl} \\ \text{tai Ø } 25 & 4 \text{ kpl} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{tai} & \text{k/k } 179 \\ \text{tai} & \text{k/k } 279 \end{array}$$

Kenttä 1 alapinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 0,934 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0929$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0976$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,708$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 2902 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{ll} \text{Ø } 20 & 10 \text{ kpl} \\ \text{tai Ø } 25 & 6 \text{ kpl} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{tai} & \text{k/k } 108 \\ \text{tai} & \text{k/k } 169 \end{array}$$

Kenttä 2 alapinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 0,691 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0687$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0712$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,718$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 2117 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{ll} \text{Ø } 20 & 7 \text{ kpl} \\ \text{tai Ø } 25 & 5 \text{ kpl} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{tai} & \text{k/k } 148 \\ \text{tai} & \text{k/k } 232 \end{array}$$

Kenttä 2 alapinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 1,027 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1021$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1079$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,704$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 3208 \text{ mm}^2 \quad \begin{array}{ll} \text{Ø } 20 & 11 \text{ kpl} \\ \text{tai Ø } 25 & 7 \text{ kpl} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{tai} & \text{k/k } 98 \\ \text{tai} & \text{k/k } 153 \end{array}$$

Kenttä 3 alapinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 0,603 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0599$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0619$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,721$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1839 \text{ mm}^2$$

Ø	20	6 kpl	tai	k/k 171
tai Ø	25	4 kpl	tai	k/k 267

Kenttä 3 alapinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745 \text{ m}$$

$$M_d = 0,864 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0859$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0899$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,711$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 2673 \text{ mm}^2$$

Ø	20	9 kpl	tai	k/k 118
tai Ø	25	6 kpl	tai	k/k 184

Tuki T1 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745$$

$$M_d = 0,189 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0188$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0190$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,737$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 564 \text{ mm}^2$$

Ø	16	3 kpl	tai	k/k 357
tai Ø	20	2 kpl	tai	k/k 557

Tuki T2 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745$$

$$M_d = 0,147 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0146$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0147$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,739$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 438 \text{ mm}^2$$

Ø	16	3 kpl	tai	k/k 459
tai Ø	20	2 kpl	tai	k/k 718

Tuki T3 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745$$

$$M_d = 0,173 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0172$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0173$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,738$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 516 \text{ mm}^2$$

Ø 16	3 kpl	tai	k/k 390
tai Ø 20	2 kpl	tai	k/k 609

Tuki T4 alapinta

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,745$$

$$M_d = 0,180 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0179$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0181$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,738$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 537 \text{ mm}^2$$

Ø 16	3 kpl	tai	k/k 375
tai Ø 20	2 kpl	tai	k/k 585

MITOITUS TAIVUTUKSELLE , MRT, pituussuunt.**Yläpinta**

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$	
Teräs	500	$f_{yk}= 500$		
Rakenneluokka =	1			
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$			
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$		
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$		
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$	

Kenttä 1 yläpinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753 \text{ m}$$

$$M_d = 0,301 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0293$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0297$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,741$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 893 \text{ mm}^2$$

Ø 16	5 kpl	tai	k/k 225
Ø 20	3 kpl	tai	k/k 352

Kenttä 1 yläpinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753 \text{ m}$$

$$M_d = 0,430 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0418$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0428$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,736$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1285 \text{ mm}^2$$

Ø 16	7 kpl	tai	k/k 157
Ø 20	5 kpl	tai	k/k 245

Kenttä 2 yläpinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753 \text{ m}$$

$$M_d = 0,306 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0298$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0302$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,741$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 908 \text{ mm}^2$$

Ø 16	5 kpl	tai	k/k 221
Ø 20	3 kpl	tai	k/k 346

Kenttä 2 yläpinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$b = 1,000 \text{ m}$

$h = 0,82 \text{ m}$

$d = 0,753 \text{ m}$

$M_d = 0,277 \text{ MNm}$

$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0270$

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0273$

$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,742$

$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 821 \text{ mm}^2$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 245
tai Ø	20	3 kpl	tai	k/k 383

Kenttä 3 yläpinta, kentän keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$b = 1,000 \text{ m}$

$h = 0,82 \text{ m}$

$d = 0,753 \text{ m}$

$M_d = 0,215 \text{ MNm}$

$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0209$

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0211$

$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,745$

$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 635 \text{ mm}^2$

Ø	16	4 kpl	tai	k/k 316
tai Ø	20	3 kpl	tai	k/k 495

Kenttä 3 yläpinta, kentän reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$b = 1,000 \text{ m}$

$h = 0,82 \text{ m}$

$d = 0,753 \text{ m}$

$M_d = 0,314 \text{ MNm}$

$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0306$

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0310$

$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,741$

$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 932 \text{ mm}^2$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 216
tai Ø	20	3 kpl	tai	k/k 337

Tuki T1 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$b = 1,000 \text{ m}$

$h = 0,82 \text{ m}$

$d = 0,753$

$M_d = 0,335 \text{ MNm}$

$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0326$

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0331$

$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,740$

$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 996 \text{ mm}^2$

Ø	16	5 kpl	tai	k/k 202
tai Ø	20	4 kpl	tai	k/k 315

Tuki T1 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 0,705 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0686$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0711$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,726$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 2137 \text{ mm}^2$$

Ø 20	7 kpl	tai	k/k 147
tai Ø 25	5 kpl	tai	k/k 230

Tuki T2 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 1,059 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1031$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1090$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,711$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 3275 \text{ mm}^2$$

Ø 20	11 kpl	tai	k/k 96
tai Ø 25	7 kpl	tai	k/k 150

Tuki T2 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 1,389 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1352$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1458$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,698$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 4380 \text{ mm}^2$$

Ø 20	14 kpl	tai	k/k 72
tai Ø 25	9 kpl	tai	k/k 112

Tuki T3 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 1,111 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1081$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1147$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,709$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 3446 \text{ mm}^2$$

Ø 20	11 kpl	tai	k/k 91
tai Ø 25	8 kpl	tai	k/k 142

Tuki T3 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 1,394 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,1356$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,1464$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,697$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 4397 \text{ mm}^2$$

Ø	20	14 kpl	tai	k/k 71
tai Ø	25	9 kpl	tai	k/k 112

Tuki T4 yläpinta, keskellä

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 0,382 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0372$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0379$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,738$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1138 \text{ mm}^2$$

Ø	16	6 kpl	tai	k/k 177
tai Ø	20	4 kpl	tai	k/k 276

Tuki T4 yläpinta, reunoilla

Lasketaan suorakaidepoikkileikkauksena :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,82 \text{ m} \quad d = 0,753$$

$$M_d = 0,567 \text{ MNm} \quad \mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,0552$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,0568$$

$$z = d * (1 - \beta / 2) = 0,731$$

$$A_s = M_d / (z * f_{yd}) = 1706 \text{ mm}^2$$

Ø	20	6 kpl	tai	k/k 184
tai Ø	25	4 kpl	tai	k/k 288

LAATAN LÄVISTYS , MRT, välituet kesk.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$
Tehollinen korkeus d=	0,745		
Piiri	u= 6,180		
Ala	Au= 2,350		
Epäkesk.	e= 0,060		
	$\rho_x= 0,004396$	yp Ø25 k150	
	$\rho_y= 0,002813$	yp Ø20 k150	
	$\rho= 0,00351645$		
	$\beta= 0,37790941$		
Vd=	3,917 MN		
Mdvast=	0,234 MNm		

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :**Leikkausraudoittamaton rakenne :**

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 0,8555 \quad \underline{V_c= 2,773 \text{ MN}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k= 1,0 \quad \underline{V_c= 3,241 \text{ MN}}$$

$$\underline{V_c= 2,773 \text{ MN}} < \underline{V_d= 3,917 \text{ MN}}$$

=> TARKASTETAAN LEIKKAUSRAUDOITETTUNA :

Mitoitusehto :

$$V_d < (0.25 V_c + V_s) < 2 V_c$$

$$V_s = A_{sv} f_{yd} \sin\alpha$$

$$f_{yd} = 300$$

$$\sin\alpha = 1$$

$$A_{sv} = 11000$$

Ø12 yht.96 leikettä

$$V_s= 3,300 \text{ MN}$$

$$V_c= 3,241 \text{ MN}$$

$$2 V_c = 6,482 \text{ MN}$$

$$V_d= 3,917 \text{ MN}$$

OK !

$$\underline{0.25 V_c + V_s = 4,110 \text{ MN}} > \underline{V_d= 3,917 \text{ MN}}$$

=> LEIKKAUSRAUDOITUS RIITTÄÄ, EI LÄVISTY !

Leikkautuvan kartion alueella tarvittava kokonaisteräsmäärä :

$$V_s \text{ vaad} = 3,107 \text{ MN} \quad \underline{A_{sv} \text{ vaad} = 10356 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Esim. } \varnothing = 12$$

tarvitaan yht. 92 leikettä

LAATAN LÄVISTYS , MRT, välituet reun.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$Y_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$Y_c= 1,35$	$Y_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$
Tehollinen korkeus d=	0,745		
Piiri	u= 6,180		
Ala	Au= 2,350		
Epäkesk.	e= 0,127		
	$\rho_x = 0,006593$	yp Ø25 k100	
	$\rho_y = 0,006593$	yp Ø25 k100	
	$\rho = 0,006593$		
	$\beta = 0,355712$		
Vd=	4,794 MN		
Mdvast=	0,61 MNm		

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :**Leikkausraudoittamaton rakenne :**

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k = 0,8555 \quad \underline{V_c = 2,951 \text{ MN}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = k \beta (1+50\rho) u d f_{ctd} \quad k = 1,0 \quad \underline{V_c = 3,450 \text{ MN}}$$

$$\underline{V_c = 2,951 \text{ MN}} < \underline{V_d = 4,794 \text{ MN}}$$

=> TARKASTETAAN LEIKKAUSRAUDOITETTUNA :

Mitoitusehto :

$$V_d < (0.25 V_c + V_s) < 2 V_c$$

$$V_s = A_{sv} f_{yd} \sin \alpha$$

$$f_{yd} = 300$$

$$\sin \alpha = 1$$

$$A_{sv} = 13500$$

Ø12 yht. 120 leikettä

$$V_s = 4,050 \text{ MN}$$

$$V_c = 3,450 \text{ MN}$$

$$2 V_c = 6,899 \text{ MN}$$

$$> V_d = 4,794 \text{ MN} \quad \text{OK !}$$

$$\underline{0.25 V_c + V_s = 4,912 \text{ MN}} > \underline{V_d = 4,794 \text{ MN}}$$

=> LEIKKAUSRAUDOITUS RIITTÄÄ, EI LÄVISTY !

Leikkautuvan kartion alueella tarvittava kokonaisteräsmäärä :

$$V_s \text{ vaad} = 3,932 \text{ MN} \quad \underline{A_{sv} \text{ vaad} = 13105 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Esim. } \varnothing = 12 \quad \text{tarvitaan yht. 116 leikettä}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE, MRT, välituet kesk.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$\gamma_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$\gamma_c= 1,35$	$\gamma_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

SUORAKAIDEPOIKKILEIKKAUS

Tehollinen korkeus d=	0,745 m		
Määräävä leveys b_w =	1,000 m		
Vetoraudoitus A_s =	1571 mm ²	$\rho = A_s/b_w \cdot d =$	0,00211

RAKENTEEN LEIKKAUSKAPASITEETIN YLÄRAJA :

$$V_{umax} = k b_w d f_{cd} = \underline{\underline{3,378 \text{ MN}}} \quad k = 0,25$$

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :**Leikkausraudoittamaton rakenne :**

$$V_{co} = 0.3 k (1+50\rho) f_{ctd} b_w d \quad k = 0,8555 \quad \underline{\underline{V_{co} = 0,33484 \text{ MN}}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = 0.8 \cdot 0.5 f_{ctd} b_w d \quad \underline{\underline{V_c = 0,472 \text{ MN}}}$$

LEIKKAUSRAUDOITUS, MINIMIHAAT :

$$A_{sv} / A_c = 0.25 (f_{ctk} / f_{yk}) \sin \alpha \quad \alpha = 90$$

$$A_{sv} = n A_{st} \quad A_c = b_w s \quad \underline{\underline{A_{svmin} = 1070 \text{ mm}^2/\text{m}}}$$

$$\text{Teräs } \emptyset = 12$$

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad \Rightarrow \quad s < \underline{\underline{264 \text{ mm}}}$$

$$\text{Minimihakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{svmin} d \sin \alpha = \underline{\underline{0,326 \text{ MN}}}$$

LEIKKAUSHAKOJEN MITOITUS :

d:n päässä tuelta, mitoittava arvo

$$V_d = 0,987 \text{ MN} \quad V_c = 0,472 \text{ MN}$$

$$V_{s_{vaad}} = V_d - V_c = 0,515 \text{ MN}$$

$$A_{sv_{vaad}} = \underline{\underline{1691 \text{ mm}^2/\text{m}}} \quad \Rightarrow \quad \text{Teräs } \emptyset = 12 \quad \text{Leike } n = 2,5$$

$$\underline{\underline{\text{leikkaushaat}}} \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{s < 167 \text{ mm}}}$$

VALITTU LEIKKAUSRAUDOITUS :

leikkaushaat

$$\text{Teräs } \emptyset = 12$$

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad \underline{\underline{s = 150 \text{ mm}}}$$

$$\text{Leikkaushakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{sv} / s d \sin \alpha = \underline{\underline{0,574 \text{ MN}}}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE, MRT, välituet reun.

Betoni K=	35	$f_{ck}= 24,5$	$f_{ctk}= 2,14$
Teräs	500	$f_{yk}= 500$	
Rakenneluokka =	1		
Raudoittamaton rakenne :	$\gamma_c= 2,00$		
Raudoitettu rakenne :	$\gamma_c= 1,35$	$\gamma_s= 1,10$	
Raudoittamaton rakenne :	$f_{cd}= 12,3$	$f_{ctd}= 1,07$	
Raudoitettu rakenne :	$f_{cd}= 18,1$	$f_{ctd}= 1,59$	$f_{yd}= 455$

SUORAKAIDENOIKKILEIKKAUS

Tehollinen korkeus d=	0,745 m		
Määräävä leveys b_w =	1,000 m		
Vetoraudoitus A_s =	1571 mm ²	$\rho = A_s/b_w \cdot d =$	0,00211

RAKENTEEN LEIKKAUSKAPASITEETIN YLÄRAJA :

$$V_{max} = k b_w d f_{cd} = \underline{3,378 \text{ MN}} \quad k = 0,25$$

BETONIN LEIKKAUSKAPASITEETIT :**Leikkausraudoittamaton rakenne :**

$$V_{co} = 0.3 k (1+50\rho) f_{ctd} b_w d \quad k = 0,8555 \quad \underline{V_{co} = 0,33484 \text{ MN}}$$

Leikkausraudoitettu rakenne :

$$V_c = 0.8 0.5 f_{ctd} b_w d \quad \underline{V_c = 0,472 \text{ MN}}$$

LEIKKAUSRAUDOITUS, MINIMIHAAT :

$$A_{sv} / A_c = 0.25 (f_{ctk} / f_{yk}) \sin \alpha \quad \alpha = 90$$

$$A_{sv} = n A_{st} \quad A_c = b_w s \quad \underline{A_{svmin} = 1070 \text{ mm}^2/\text{m}}$$

$$\text{Teräs } \emptyset = 12$$

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad \Rightarrow \quad s < \underline{264 \text{ mm}}$$

$$\text{Minimihakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{svmin} d \sin \alpha = \underline{0,326 \text{ MN}}$$

LEIKKAUSHAKOJEN MITOITUS :

d:n päässä tuelta, mitoittava arvo

$$V_d = 1,302 \text{ MN} \quad V_c = 0,472 \text{ MN}$$

$$V_{s_{vaad}} = V_d - V_c = 0,830 \text{ MN}$$

$$A_{sv_{vaad}} = \underline{2725 \text{ mm}^2/\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{Teräs } \emptyset = 12 \quad \text{Leike } n = 2,5$$

$$\underline{\text{leikkaushaat}} \quad \Rightarrow \quad s < \underline{104 \text{ mm}}$$

VALITTU LEIKKAUSRAUDOITUS :

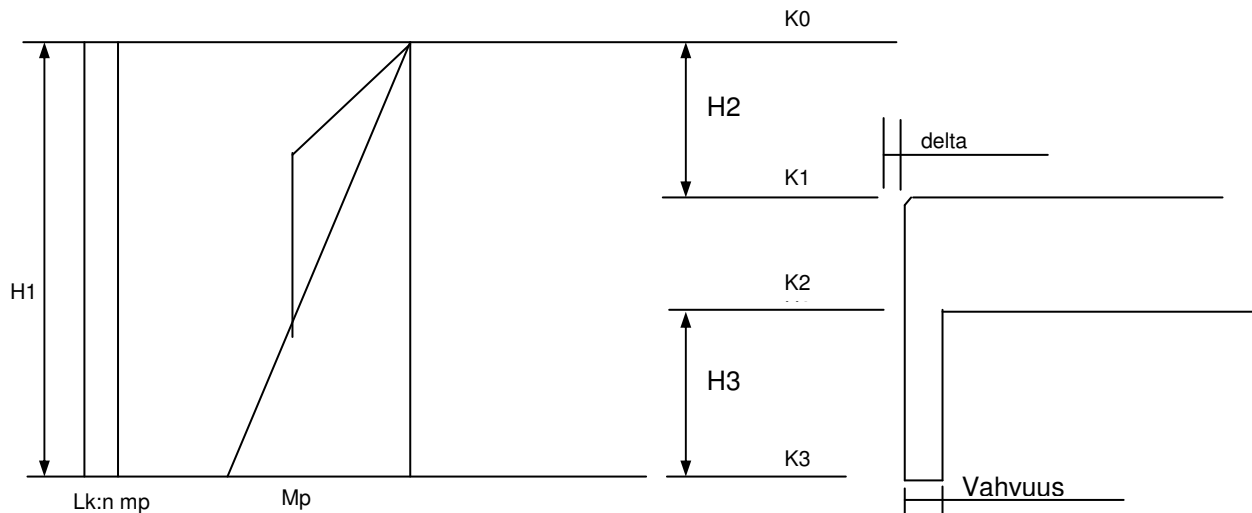
leikkaushaat

$$\text{Teräs } \emptyset = 12$$

$$\text{Leike } n = 2,5 \quad s = \underline{100 \text{ mm}}$$

$$\text{Leikkaushakojen kapas. } V_s = 0.9 f_{yd} A_{sv} / s d \sin \alpha = \underline{0,861 \text{ MN}}$$

Hanke: Vt 3
 Silta: Sarankulman risteysilta S10
 Tuki: PUSKULEVY KANNEN T4:n PÄÄSSÄ

PUSKULEVYN MITAT JA RAKENNETIEDOT**MITAT**

Korkeus H1 = 2616 mm
 Korkeus H2 = 110 mm
 Korkeus H3 = 1796 mm
 Vahvuus = 600 mm

Kitkakulma = 38°
 Gamma = 21 kN/m³
 Pintakuorma = 20 kN/m²

Suojabetoni = 35 mm
 Työteräs = 10 mm

delta = 15 mm
 delta/H = 0,006
 Kp = 2,57

Kannen vahvuus= 820

liiketilaa vastaava
 passiivipainekerroin = 2,57
 redusointi vinoudesta johtuen
 Kp = kr*Kp 2,57
 kr= 1

TIIVISTELMÄ LASKELMISTA

MATERIAALIT: Betoni K 35
 Rak.luokka 1
 Teräs A 500 H

PÄÄTERÄKSET f 20
 jako k 200

MITOITUS TAIVUTUKSELLE

Asvaadittu= 869 mm²/m
 As= 1570 mm²/m

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

Vc0= 313 kN/m
 Vd= 200 kN/m

HALKEAMALEVEYDET

Wkpitkä= 0,057 mm, Wksall= 0,257 mm
 Wklyhyt= 0,290 mm, Wksall= 0,386 mm

MAANPAINE JA LK:N MAANPAINE

Maanpaine puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 6,62 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine puskulevyn alareunassa (K3) :

$$p = 21,11 \text{ kN/m}^2$$

Tiivistyslisä puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 9,38 \text{ kN/m}^2$$

Tiivistyslisän vaikutusalue: 1,16 m

Liikennekuorman maanpaine:

$$p = 7,69 \text{ kN/m}^2$$

LEIKKAUSVOIMA:

$$V_k = 44,17 \text{ kN/m}$$

$$V_d = 58,53 \text{ kN/m}$$

TAIVUTUSMOMENTTI:

$$M_{kl} = 41,93 \text{ kNm/m}$$

$$M_{kp} = 33,25 \text{ kNm/m}$$

$$M_d = 55,27 \text{ kNm/m}$$

SIIRTYMISTÄ AIHEUTUVAT VOIMASUUREET

Kannen pään maksimi siirtymä penkkaan päin	KRT 15 mm
Kannen pään korkeus penkkaa vasten	2,506 m

Passiivipaine kerroin

$$\begin{aligned} \delta/H &= 0,006 \\ K_p &= 2,572073 \end{aligned}$$

Maanpaine puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 44,29 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine puskulevyn alareunassa (K3) :

$$p = 141,30 \text{ kN/m}^2$$

LEIKKAUSVOIMA:

$$V_k = 166,66 \text{ kN/m}$$

$$V_d = 199,99 \text{ kN/m}$$

TAIVUTUSMOMENTTI:

$$M_{kl} = 175,74 \text{ kNm/m}$$

$$M_d = 210,88 \text{ kNm/m}$$

MÄÄRÄÄVÄT VOIMASUUREET

MITOITUS MURTORAJATILASSA

$$V_d = 199,99 \text{ kN/m}$$
$$M_d = 210,88 \text{ kNm/m}$$

MITOITUS KÄYTTÖRAJATILASSA

$$M_{klyhyt} = 175,74 \text{ kNm/m}$$
$$M_{kpitkä} = 33,25 \text{ kNm/m}$$

MATERIAALIT

Betoni	K	35
Rak.luokka		1
Teräs	A	500 H

$$f_{ck} = 24,5 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{cd} = 18,14815 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ctk} = 2,139975 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ctd} = 1,585167 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = 454,5455 \text{ MN/m}^2$$

Pääteräksiä suojaava betonipeite 45 mm

MURTORAJATILA**MITOITUS TAIVUTUKSELLE**

$$m_d = 210,9 \text{ kNm/m}$$

$$\text{PÄÄTERÄKSET } \phi \quad 20 \quad \text{jako } k \text{ } 200$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 545 \text{ mm}$$

$$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,03912$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,03992 = \omega$$

$$A_s = \omega * b * d * f_{cd} / f_{yd} = 869 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\Rightarrow 1570 \text{ mm}^2/\text{m}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

$$v_d = 200,0 \text{ kN/m}$$

$$V_{co} = 0.3 * k * (1 + 50 * \rho) * f_{ctd} * b_w * d$$

$$k = 1.6 - d \geq 0.8$$

$$\rho = A_s / (b_w * d) \leq 0.02$$

$$k = 1,055$$

$$\rho = 0,00288$$

$$V_{co} = 312,813 \text{ kN/m} > 199,992$$

KÄYTTÖRAJATILA**HALKEAMAN LEVEYS**

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r)$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s)$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s)$$

$$k_w = 0,085$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce}$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$E_c = 5000 * k * \sqrt{K} ; \quad k = 1,0$$

$$\text{PITKÄAIKAISKUORMAT: } E_{cc} = E_c / (1 + \phi) ; \quad \phi = k_t * k_{ch} * \phi_o$$

$$x / d = \alpha_{ep} * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_{ep} } - 1)$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_{ep} } - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

PITKÄAIKAISKUORMAT

$$m_d = 33,2 \text{ kNm/m}$$

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,286$$

$$w_{ksall} = 0,2 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c / c_{\min} = 0,257 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 2$$

$$h_e = (h * b) / (h + b) = 232 \text{ mm} \Rightarrow k_{ch} = 0,818$$

$$k_t = 1,0$$

$$\phi = 1,637$$

$$E_{cc} = 11218,17 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0514$$

$$x/d = \alpha_e \rho * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 0,2732$$

$$x = d * \alpha_e \rho * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 149 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 495 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 42,751 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 205000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00766$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,218 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 280,663 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = -0,004$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,00015$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,00015$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) = 0,057 \text{ mm} < 0,257$$

LYHYTAIKAISKUORMAT

$$m_d = 175,7 \text{ kNm/m}$$

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,286$$

$$w_{ksall} = 0,3 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c/c_{\min} = 0,386 \text{ mm}$$

$$E_c = 29580,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0195$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 0,1789$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 97 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 513 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 218,405 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 205000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00766$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,218 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 271,274 \text{ MN/m}^2$$

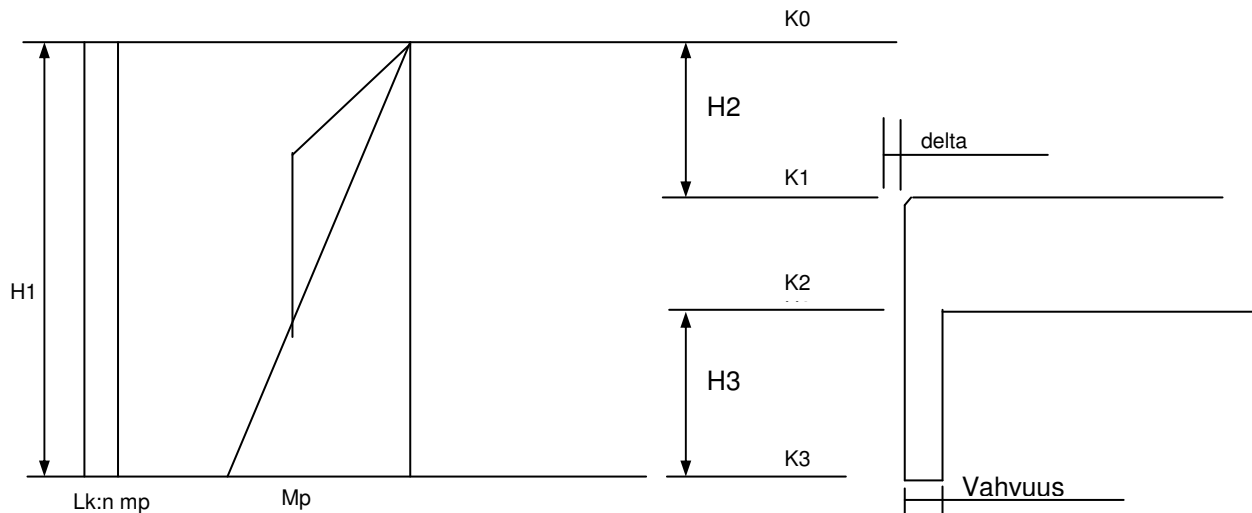
$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = 0,000$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,000764$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000764$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) = 0,290 \text{ mm} < 0,386$$

Hanke: Vt 3
 Silta: Sarankulman risteysilta S10
 Tuki: PUSKULEVY KANNEN T1:n PÄÄSSÄ

PUSKULEVYN MITAT JA RAKENNETIEDOT**MITAT**

Korkeus H1 = 3010 mm
 Korkeus H2 = 110 mm
 Korkeus H3 = 2190 mm
 Vahvuus = 600 mm

Kitkakulma = 38°
 Gamma = 21 kN/m³
 Pintakuorma = 20 kN/m²

Suojabetoni = 35 mm
 Työteräs = 10 mm

delta = 15 mm
 delta/H = 0,005
 Kp = 2,29

Kannen vahvuus= 820

liiketilaa vastaava
 passiivipainekerroin = 2,29
 redusointi vinoudesta johtuen
 Kp = kr*Kp 2,29
 kr= 1

TIIVISTELMÄ LASKELMISTA

MATERIAALIT: Betoni K 35
 Rak.luokka 1
 Teräs A 500 H

PÄÄTERÄKSET f 20
 jako k 150

MITOITUS TAIVUTUKSELLE

Asvaadittu= 1311 mm²/m
 As= 2093 mm²/m

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

Vc0= 326 kN/m
 Vd= 242 kN/m

HALKEAMALEVEYDET

Wkpitkä= 0,059 mm, Wksall= 0,257 mm
 Wklyhyt= 0,280 mm, Wksall= 0,386 mm

MAANPAINE JA LK:N MAANPAINE

Maanpaine puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 6,62 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine puskulevyn alareunassa (K3) :

$$p = 24,29 \text{ kN/m}^2$$

Tiivistyslisä puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 9,38 \text{ kN/m}^2$$

Tiivistyslisän vaikutusalue: 1,16 m

Liikennekuorman maanpaine:

$$p = 7,69 \text{ kN/m}^2$$

LEIKKAUSVOIMA:

$$V_k = 56,14 \text{ kN/m}$$

$$V_d = 74,11 \text{ kN/m}$$

TAIVUTUSMOMENTTI:

$$M_{kl} = 66,55 \text{ kNm/m}$$

$$M_{kp} = 53,65 \text{ kNm/m}$$

$$M_d = 87,23 \text{ kNm/m}$$

SIIRTYMISTÄ AIHEUTUVAT VOIMASUUREET

	KRT
Kannen pään maksimi siirtymä penkkaan päin	15 mm
Kannen pään korkeus penkkaa vasten	2,9 m

Passiivipainekerroin

$$\delta/H = 0,005$$

$$K_p = 2,285661$$

Maanpaine puskulevyn yläreunassa (K2) :

$$p = 39,36 \text{ kN/m}^2$$

Maanpaine puskulevyn alareunassa (K3) :

$$p = 144,48 \text{ kN/m}^2$$

LEIKKAUSVOIMA:

$$V_k = 201,30 \text{ kN/m}$$

$$V_d = 241,56 \text{ kN/m}$$

TAIVUTUSMOMENTTI:

$$M_{kl} = 262,44 \text{ kNm/m}$$

$$M_d = 314,92 \text{ kNm/m}$$

MÄÄRÄÄVÄT VOIMASUUREET

MITOITUS MURTORAJATILASSA

$$V_d = 241,56 \text{ kN/m}$$
$$M_d = 314,92 \text{ kNm/m}$$

MITOITUS KÄYTTÖRAJATILASSA

$$M_{klyhyt} = 262,44 \text{ kNm/m}$$
$$M_{kpitkä} = 53,65 \text{ kNm/m}$$

MATERIAALIT

Betoni	K	35
Rak.luokka		1
Teräs	A	500 H

$$f_{ck} = 24,5 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{cd} = 18,14815 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ctk} = 2,139975 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ctd} = 1,585167 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = 454,5455 \text{ MN/m}^2$$

Pääteräksiä suojaava betonipeite 45 mm

MURTORAJATILA**MITOITUS TAIVUTUKSELLE**

$$m_d = 314,9 \text{ kNm/m}$$

$$\text{PÄÄTERÄKSET } \phi \quad 20 \quad \text{jako } k \text{ 150}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 545 \text{ mm}$$

$$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,05842$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,06024 = \omega$$

$$A_s = \omega * b * d * f_{cd} / f_{yd} = 1311 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\Rightarrow 2093,333 \text{ mm}^2/\text{m}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

$$v_d = 241,6 \text{ kN/m}$$

$$V_{co} = 0.3 * k * (1 + 50 * \rho) * f_{ctd} * b_w * d$$

$$k = 1.6 - d \geq 0.8$$

$$\rho = A_s / (b_w * d) \leq 0.02$$

$$k = 1,055$$

$$\rho = 0,00384$$

$$V_{co} = 325,941 \text{ kN/m} > 241,560$$

KÄYTTÖRAJATILA**HALKEAMAN LEVEYS**

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r)$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s)$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s)$$

$$k_w = 0,085$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce}$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$E_c = 5000 * k * \sqrt{K} ; \quad k = 1,0$$

$$\text{PITKÄAIKAISKUORMAT: } E_{cc} = E_c / (1 + \phi) ; \quad \phi = k_t * k_{ch} * \phi_o$$

$$x / d = \alpha_{ep} * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_{ep} } - 1)$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_{ep} } - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

PITKÄAIKAISKUORMAT

$$m_d = 53,6 \text{ kNm/m}$$

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,286$$

$$w_{ksall} = 0,2 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c / c_{\min} = 0,257 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 2$$

$$h_e = (h * b) / (h + b) = 260 \text{ mm} \Rightarrow k_{ch} = 0,790$$

$$k_t = 1,0$$

$$\phi = 1,579$$

$$E_{cc} = 11468,34 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0670$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 0,3051$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 166 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 490 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 52,345 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 205000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,01021$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,218 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 212,988 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = -0,002$$

$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,000183$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000183$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) = 0,059 \text{ mm} < 0,257$$

LYHYTAIKAISKUORMAT

$$m_d = 262,4 \text{ kNm/m}$$

$$c = 45 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,286$$

$$w_{ksall} = 0,3 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c/c_{\min} = 0,386 \text{ mm}$$

$$E_c = 29580,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0260$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 0,2034$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 111 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 508 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 246,764 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 205000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,01021$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,218 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 205,242 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = 0,001$$

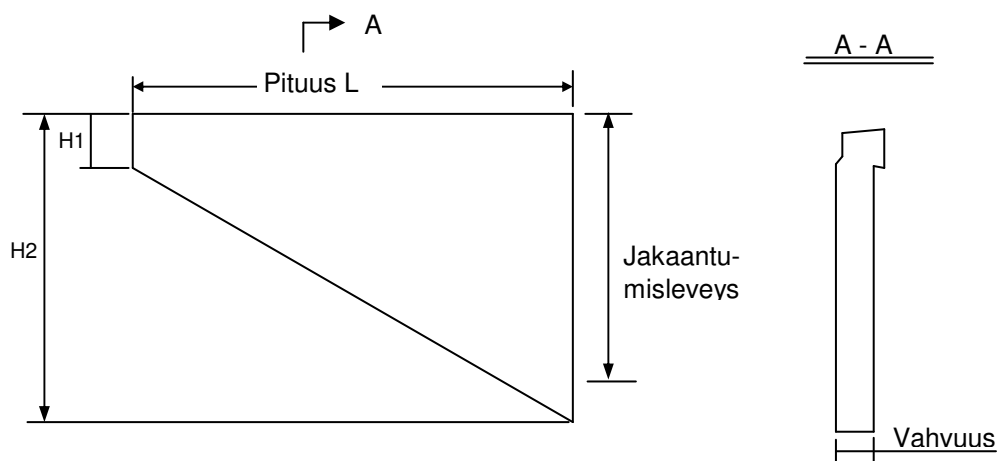
$$0.7 * \sigma_s / E_s = 0,000864$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000864$$

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r) = 0,280 \text{ mm} < 0,386$$

Hanke: TAMPEREEN LÄNTINEN KEHÄTIE II VAIHE
 Silta: S10 SARANKULMAN RISTEYSSILTA
 Tuki: SIIVET 1-2

SIIVEN MITAT JA RAKENNETIEDOT



MITAT

Pituus L	=	3130 mm	Jakaantumis-	
Korkeus H1	=	700 mm	leveys % H2:sta	80 %
Korkeus H2	=	3030 mm		
Vahvuus	=	450 mm	Pyöräkuorma 130 kN	
Suojabetoni	=	35 mm		
Työteräs	=	12 mm		
Jakoteräs	=	12 mm		

SIIVEN MITOITUS

Leikkausvoiman laskeminen:

$V = 1/6 \cdot 21 \cdot 0.384 \cdot L \cdot (H_2^2 + H_2 \cdot H_1 + H_1^2)$ pysyvän kuorman maanpaine

$V = 1/2 \cdot 20 \cdot 0.384 \cdot L \cdot (H_2^2 + H_2 \cdot H_1 + H_1^2)$ liikennekuorman maanpaine

$V = Q \cdot \tan(45 - \phi/2)$ yksittäinen pyöräkuorma

Taivutusmomentin laskeminen:

$M = 1/24 \cdot 21 \cdot 0.384 \cdot L^2 \cdot (H_2^2 + 2 \cdot H_2 \cdot H_1 + 3 \cdot H_1^2)$ pysyvän kuorman maanpaine

$M = 1/6 \cdot 20 \cdot 0.384 \cdot L^2 \cdot (H_2 + 2 \cdot H_1)$ liikennekuorman maanpaine

$M = Q \cdot \tan(45 - \phi/2) \cdot L_p$ yksittäinen pyöräkuorma

$L_p = L - L \cdot (1,6 - H_1) / (H_2 - H_1) - 0,3$

Liikennekuorman pitkäaikaisosuus 30 %

MATERIAALIT:

Betoni	K	35
Rak.luokka		1
Teräs	A	500 H

$f_{ck} = 24,5 \text{ MN/m}^2$

$f_{cd} = 18,1 \text{ MN/m}^2$

$f_{ctk} = 2,14 \text{ MN/m}^2$

$f_{ctd} = 1,59 \text{ MN/m}^2$

$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$

$f_{yd} = 455 \text{ MN/m}^2$

Pääteräksiä suojaava betonipeite

59 mm

KUORMAT:

Pysyvät kuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vk	=	49,605 kN	20,4642 kN/m
Vd	=	59,526 kN	24,55704 kN/m
Mk	=	49,024 kNm	20,22435 kNm/m
Md	=	58,829 kNm	24,26922 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	49,024 kNm	20,22435 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	49,024 kNm	20,22435 kNm/m

Liikennekuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vk	=	44,8 kN	18,5 kN/m
Vd	=	71,7 kN	29,6 kN/m
Mk	=	55,6 kNm	22,9 kNm/m
Md	=	88,9 kNm	36,7 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	16,7 kNm	6,9 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	55,6 kNm	22,9 kNm/m

Yksittäinen pyöräkuorma:

Vd	=	101,4 kN	41,8 kN/m
Md	=	164,4 kNm	67,8 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	49,3 kNm	20,4 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	164,4 kNm	67,8 kNm/m
Lp	=	1,6 m	

Mitoituskuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vd	=	161,0 kN	66,4 kN/m
Md	=	223,3 kNm	92,1 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	98,4 kNm	40,6 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	213,5 kNm	88,1 kNm/m

MURTORAJATILA**MITOITUS TAIVUTUKSELLE**

$$m_d = 92,1 \text{ kNm/m}$$

PÄÄTERÄKSET	ϕ	16	jako	k 200	+
	ϕ	0	jako	k 400	

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 383 \text{ mm}$$

$$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,03460$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,03522 = \omega$$

$$A_s = \omega * b * d * f_{cd} / f_{yd} = 539 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Valitaan } 1005 \text{ mm}^2/\text{m}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

$$v_d = 66,4 \text{ kN/m}$$

$$V_{co} = 0.3 * k * (1 + 50 * \rho) * f_{ctd} * b_w * d$$

$$k = 1.6 - d \geq 0.8$$

$$\rho = A_s / (b_w * d) \leq 0.02$$

$$k = 1,217$$

$$\rho = 0,00262$$

$$V_{co} = 250,735 \text{ kN/m} > 66,405$$

KÄYTTÖRAJATILA**HALKEAMAN LEVEYS**

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r)$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s)$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s)$$

$$k_w = 0,085$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce}$$

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$E_c = 5000 * k * \sqrt{K} ; \quad k = 1,0$$

$$\text{PITKÄAIKAISKUORMAT: } E_{cc} = E_c / (1 + \phi) ; \quad \phi = k_t * k_{ch} * \phi_o$$

$$x / d = \alpha_e \rho * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_e \rho } - 1)$$

$$x = d * \alpha_e \rho * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_e \rho } - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

PITKÄAIKAISKUORMAT

$$m_k = 40,575 \text{ kNm/m}$$

$$c = 59 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,500$$

$$w_{ksall} = 0,2 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c / c_{\min} = 0,300 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 2$$

$$h_e = (h * b) / (h + b) = 380 \text{ mm} \Rightarrow k_{ch} = 0,730$$

$$k_t = 1,0$$

$$\phi = 1,460$$

$$E_{cc} = 12023,43 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0436$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 0,2550$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 98 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 350 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 115,228 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 187000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00537$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,123 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 348,684 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = -0,002$$

$$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000403$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000403$$

$$w_k = \varepsilon_s \cdot (3.5 \cdot c + k_w \cdot \phi / \rho_r) = 0,185 \text{ mm} < 0,300$$

LYHYTAIKAISKUORMAT

$$m_k = 88,060 \text{ kNm/m}$$

$$c = 59 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,500$$

$$w_{ksall} = 0,3 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} \cdot c / c_{\min} = 0,450 \text{ mm}$$

$$E_c = 29580,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c \cdot A_s / (b_w \cdot d) = 0,0177$$

$$x/d = \alpha_e \rho \cdot (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 0,1714$$

$$x = d \cdot \alpha_e \rho \cdot (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 66 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 361 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s \cdot A_s) = 242,692 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w \cdot (c + \phi / 2 + 7.5 \cdot \phi) = 187000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00537$$

$$M_r = 1.7 \cdot W_{ce} \cdot f_{ctk} = 0,123 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s \cdot A_s) = 338,384 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s \cdot [1 - 1 / (25 \cdot k_w) \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = 0,000$$

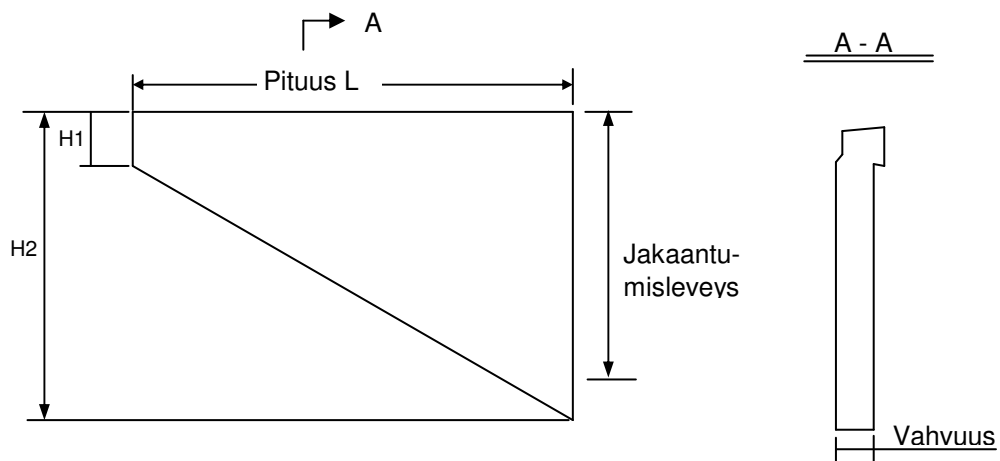
$$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000849$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000849$$

$$w_k = \varepsilon_s \cdot (3.5 \cdot c + k_w \cdot \phi / \rho_r) = 0,390 \text{ mm} < 0,450$$

Hanke: TAMPEREEN LÄNTINEN KEHÄTIE II VAIHE
 Silta: S10 SARANKULMAN RISTEYSSILTA
 Tuki: SIIVET 3-4

SIIVEN MITAT JA RAKENNETIEDOT



MITAT

Pituus L	=	3020 mm	Jakaantumis-	
Korkeus H1	=	700 mm	leveys % H2:sta	80 %
Korkeus H2	=	2340 mm		
Vahvuus	=	450 mm	Pyöräkuorma 130 kN	
Suojabetoni	=	35 mm		
Työteräs	=	12 mm		
Jakoteräs	=	12 mm		

SIIVEN MITOITUS

Leikkausvoiman laskeminen:

$V = 1/6 * 21 * 0.384 * L * (H2^2 + H2 * H1 + H1^2)$ pysyvän kuorman maanpaine

$V = 1/2 * 20 * 0.384 * L * (H2^2 + H2 * H1 + H1^2)$ liikennekuorman maanpaine

$V = Q * \tan(45 - \phi/2)$ yksittäinen pyöräkuorma

Taivutusmomentin laskeminen:

$M = 1/24 * 21 * 0.384 * L^2 * (H2^2 + 2 * H2 * H1 + 3 * H1^2)$ pysyvän kuorman maanpaine

$M = 1/6 * 20 * 0.384 * L^2 * (H2 + 2 * H1)$ liikennekuorman maanpaine

$M = Q * \tan(45 - \phi/2) * L_p$ yksittäinen pyöräkuorma

$L_p = L - L * (1,6 - H1) / (H2 - H1) - 0,3$

Liikennekuorman pitkäaikaisosuus 30 %

MATERIAALIT:

Betoni	K	35
Rak.luokka		1
Teräs	A	500 H

$f_{ck} = 24,5 \text{ MN/m}^2$

$f_{cd} = 18,1 \text{ MN/m}^2$

$f_{ctk} = 2,14 \text{ MN/m}^2$

$f_{ctd} = 1,59 \text{ MN/m}^2$

$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$

$f_{yd} = 455 \text{ MN/m}^2$

Pääteräksiä suojaava betonipeite

59 mm

KUORMAT:

Pysyvät kuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vk	=	30,862 kN	16,48616 kN/m
Vd	=	37,035 kN	19,7834 kN/m
Mk	=	31,324 kNm	16,73271 kNm/m
Md	=	37,588 kNm	20,07925 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	31,324 kNm	16,73271 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	31,324 kNm	16,73271 kNm/m

Liikennekuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vk	=	35,3 kN	18,8 kN/m
Vd	=	56,4 kN	30,1 kN/m
Mk	=	43,7 kNm	23,3 kNm/m
Md	=	69,9 kNm	37,3 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	13,1 kNm	7,0 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	43,7 kNm	23,3 kNm/m

Yksittäinen pyöräkuorma:

Vd	=	101,4 kN	54,2 kN/m
Md	=	107,8 kNm	57,6 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	32,3 kNm	17,3 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	107,8 kNm	57,6 kNm/m
Lp	=	1,1 m	

Mitoituskuormat:

Kuormat koko siivelle:

Kuormat jakaantumisleveydelle:

Vd	=	138,5 kN	74,0 kN/m
Md	=	145,4 kNm	77,7 kNm/m
Mkpitkäaikainen	=	63,7 kNm	34,0 kNm/m
Mklyhytaikainen	=	139,1 kNm	74,3 kNm/m

MURTORAJATILA**MITOITUS TAIVUTUKSELLE**

$$m_d = 77,7 \text{ kNm/m}$$

$$\text{PÄÄTERÄKSET } \phi \quad \begin{matrix} 16 \\ 0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{jako k 200} \\ \text{jako k 400} \end{matrix} \quad +$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 383 \text{ mm}$$

$$\mu = m_d / (b * d^2 * f_{cd}) = 0,02917$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 0,02961 = \omega$$

$$A_s = \omega * b * d * f_{cd} / f_{yd} = 453 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Valitaan } 1005 \text{ mm}^2/\text{m}$$

MITOITUS LEIKKAUKSELLE

$$v_d = 74,0 \text{ kN/m}$$

$$V_{co} = 0.3 * k * (1 + 50 * \rho) * f_{ctd} * b_w * d$$

$$k = 1.6 - d \geq 0.8$$

$$\rho = A_s / (b_w * d) \leq 0.02$$

$$k = 1,217$$

$$\rho = 0,00262$$

$$V_{co} = 250,735 \text{ kN/m} > 73,971$$

KÄYTTÖRAJATILA**HALKEAMAN LEVEYS**

$$w_k = \varepsilon_s * (3.5 * c + k_w * \phi / \rho_r)$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.7 * \sigma_s / E_s$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s)$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s)$$

$$k_w = 0,085$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce}$$

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c * A_s / (b_w * d)$$

$$E_c = 5000 * k * \sqrt{K} ; \quad k = 1,0$$

$$\text{PITKÄAIKAISKUORMAT: } E_{cc} = E_c / (1 + \phi) ; \quad \phi = k_t * k_{ch} * \phi_o$$

$$x / d = \alpha_e \rho * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_e \rho } - 1)$$

$$x = d * \alpha_e \rho * (\sqrt{ 1 + 2 / \alpha_e \rho } - 1)$$

$$z = d - x / 3$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi)$$

PITKÄAIKAISKUORMAT

$$m_k = 34,008 \text{ kNm/m}$$

$$c = 59 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,500$$

$$w_{ksall} = 0,2 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} * c / c_{\min} = 0,300 \text{ mm}$$

$$\phi_o = 2$$

$$h_e = (h * b) / (h + b) = 363 \text{ mm} \Rightarrow k_{ch} = 0,734$$

$$k_t = 1,0$$

$$\phi = 1,469$$

$$E_{cc} = 11982,64 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_{ep} = E_s / E_c * A_s / (b_w * d) = 0,0438$$

$$x/d = \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 0,2554$$

$$x = d * \alpha_{ep} * (\sqrt{1 + 2 / \alpha_{ep}} - 1) = 98 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 350 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s * A_s) = 96,592 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w * (c + \phi / 2 + 7.5 * \phi) = 187000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00537$$

$$M_r = 1.7 * W_{ce} * f_{ctk} = 0,123 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s * A_s) = 348,731 \text{ MN/m}^2$$

$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s * [1 - 1 / (25 * k_w) * (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = -0,002$$

$$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000338$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000338$$

$$w_k = \varepsilon_s \cdot (3.5 \cdot c + k_w \cdot \phi / \rho_r) = 0,155 \text{ mm} < 0,300$$

LYHYTAIKAISKUORMAT

$$m_k = 74,317 \text{ kNm/m}$$

$$c = 59 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 35 \text{ mm}$$

$$c / c_{\min} \leq 1.5 \Rightarrow 1,500$$

$$w_{ksall} = 0,3 \text{ mm} \Rightarrow w_{ksall} = w_{ksall} \cdot c / c_{\min} = 0,450 \text{ mm}$$

$$E_c = 29580,4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha_e \rho = E_s / E_c \cdot A_s / (b_w \cdot d) = 0,0177$$

$$x/d = \alpha_e \rho \cdot (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 0,1714$$

$$x = d \cdot \alpha_e \rho \cdot (\sqrt{1 + 2 / \alpha_e \rho} - 1) = 66 \text{ mm}$$

$$z = d - x/3 = 361 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = M_d / (z_s \cdot A_s) = 204,818 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{ce} = b_w \cdot (c + \phi / 2 + 7.5 \cdot \phi) = 187000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_r = A_s / A_{ce} = 0,00537$$

$$M_r = 1.7 \cdot W_{ce} \cdot f_{ctk} = 0,123 \text{ MNm}$$

$$\sigma_{sr} = M_r / (z_s \cdot A_s) = 338,384 \text{ MN/m}^2$$

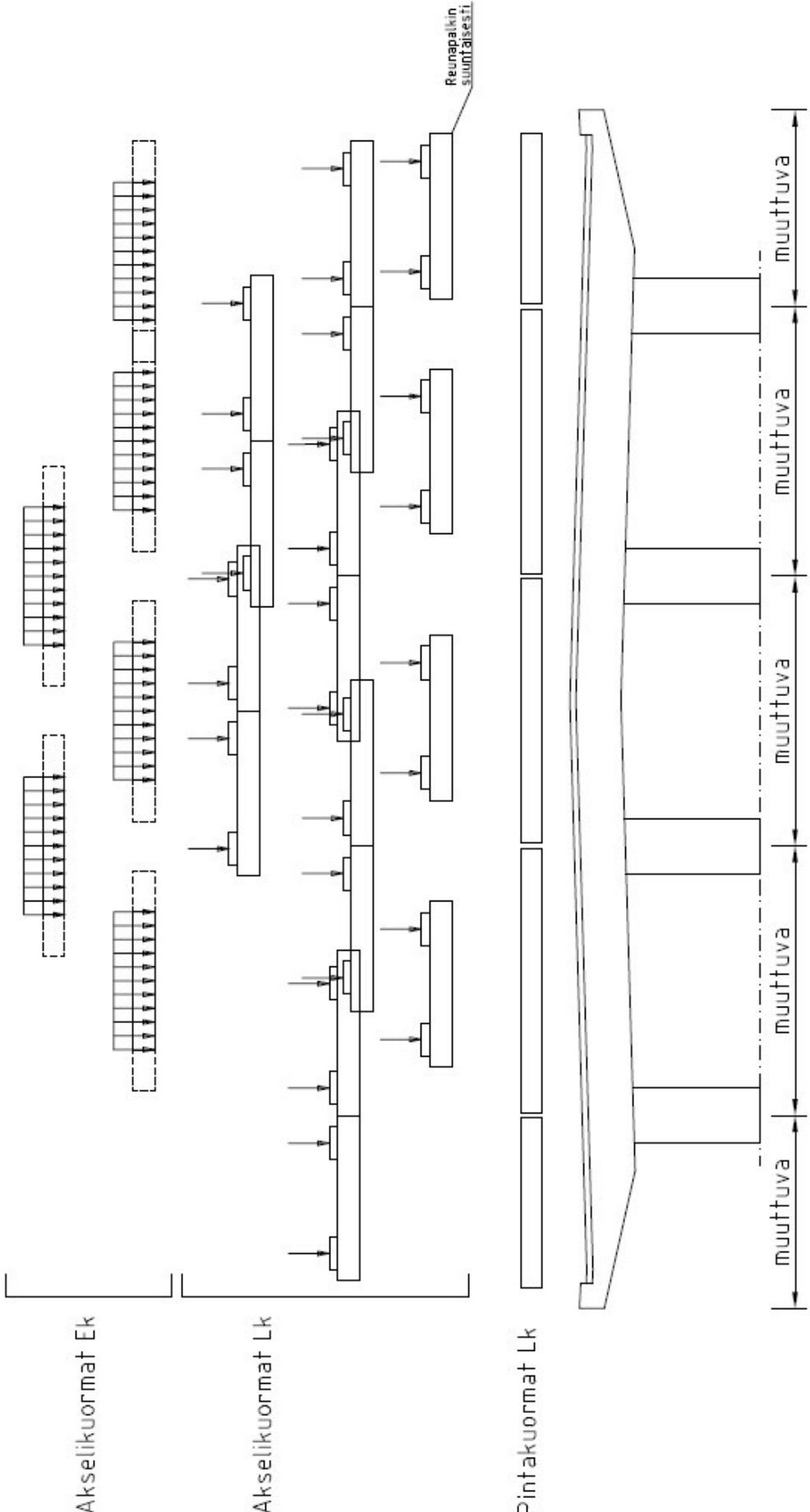
$$\varepsilon_s = \sigma_s / E_s \cdot [1 - 1 / (25 \cdot k_w) \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] = 0,000$$

$$0.7 \cdot \sigma_s / E_s = 0,000717$$

$$\Rightarrow \varepsilon_s = 0,000717$$

$$w_k = \varepsilon_s \cdot (3.5 \cdot c + k_w \cdot \phi / \rho_r) = 0,329 \text{ mm} < 0,450$$

LIIKENNEKUORMIEN SIIJOITTELU POIKKILEIKKAUKSESSA



PILARIN YLÄPÄÄ

[illegible]

PILARIN ALAPAA

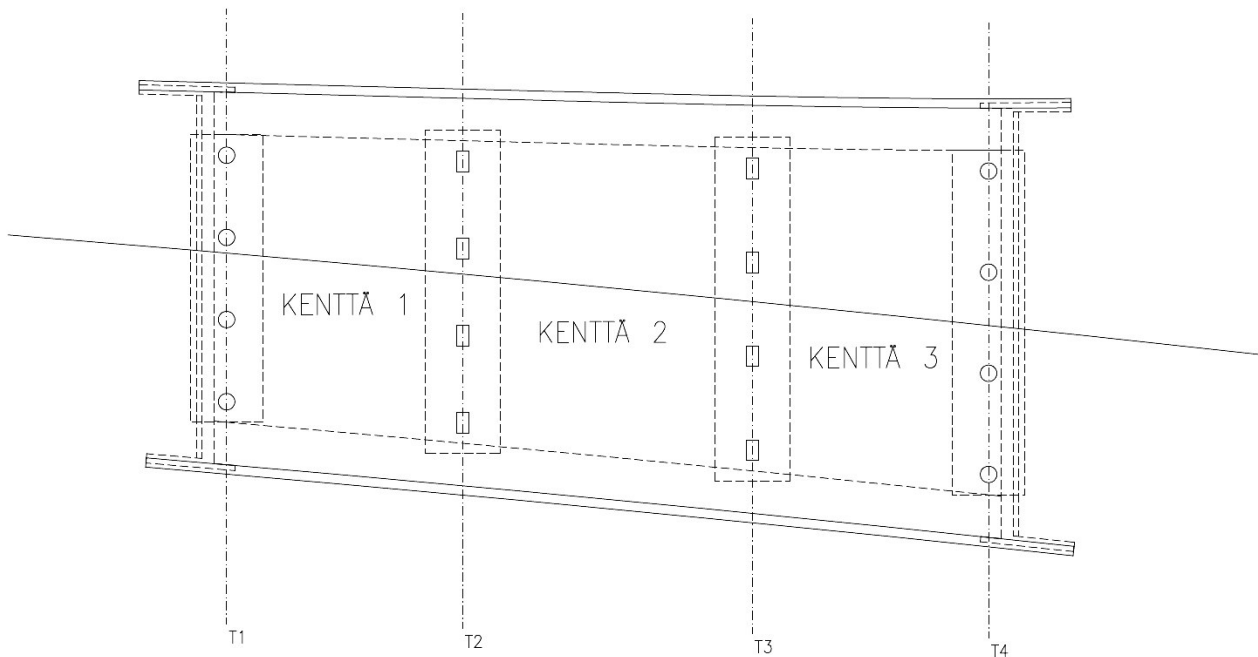
PVS/WAT	Mx	My	MRT																						
			TAPAU5 1			TAPAU5 2			TAPAU5 3			TAPAU5 4			TAPAU5 5			TAPAU5 6							
N	N	N	Nmin	Vyvast	Vzvast	Mvzast	Nmax	Vyvast	Vzvast	Mvzast	Nmin	Vyvast	Vzvast	Mvzast	Nmax	Vyvast	Vzvast	Mvzast	Nmin	Vyvast	Vzvast	Mvzast			
Reunapilariit	-4914	170	84	212	551	-4914	170	84	212	551	-4914	170	84	212	551	-4914	170	84	212	551	-4914	170	84	212	551
Py+muttuvaat	-2524	155	42	140	516	-2524	155	42	140	516	-2524	155	42	140	516	-2524	155	42	140	516	-2524	155	42	140	516
LK_tapsau1	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35
LK_tapsau2	-1619	111	26	4	16	-1619	111	26	4	16	-1619	111	26	4	16	-1619	111	26	4	16	-1619	111	26	4	16
LK_tapsau3	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35	-2390	14	42	72	35
LK_tapsau4	-4870	151	26	4	16	-4870	151	26	4	16	-4870	151	26	4	16	-4870	151	26	4	16	-4870	151	26	4	16

--	--

[illegible]

6.1 Murtorajatilat

Mitoitetaan taivutukselle.



Kuvassa näytetty alla olevissa yhdistelmissä tarkoitetut kentät ja tuet.

Voimasuureet/m

Kannen alapinnan raudoitus

Momentti pituussuunnassa

Kenttä 1

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 294 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 283 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ y} = M_{pys_muut} + M_{Lk-osa1} \\ = (294 + 283) \text{ kNm} = 577 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 362 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 572 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ y} = (362 + 572) \text{ kNm} = 934 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 399 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 292 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ y} = (399 + 292) \text{ kNm} = 691 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 476 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 552 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (476 + 552) \text{ kNm} = 1027 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 325 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 278 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (325 + 278) \text{ kNm} = 603 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 384 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 480 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (384 + 480) \text{ kNm} = 864 \text{ kNm}$$

Tuki T1

$$M_{pys_muut} = 49 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 140 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (49 + 140) \text{ kNm} = 189 \text{ kNm}$$

Tuki T2

$$M_{pys_muut} = 116 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 31 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (116 + 31) \text{ kNm} = 147 \text{ kNm}$$

Tuki T3

$$M_{pys_muut} = 119 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 54 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (119 + 54) \text{ kNm} = 173 \text{ kNm}$$

Tuki T4

$$M_{pys_muut} = 49 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 131 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap y} = (49 + 131) \text{ kNm} = 180 \text{ kNm}$$

Tuet tarkasteltu pahimmilla voimilla joilla päädyttiin vähimmäisraudoituksen tarpeeseen. Näin ollen ei jaeta tukien kohdalta tarkastelukohtia pitkittäissuuntaisiksi kaistoiksi ja katsota pienemmillä voimilla erikseen.

Momentti poikittaissuunnassaKenttä 1

$$M_{pys_muut} = 105 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 152 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap x} = M_{pys_muut} + M_{Ek}$$

$$= (105 + 152) \text{ kNm} = 257 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

$$M_{pys_muut} = 116 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 172 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (116 + 172) \text{ kNm} = 288 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

$$M_{pys_muut} = 119 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 150 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (119 + 150) \text{ kNm} = 269 \text{ kNm}$$

Tuki T1

$$M_{pys_muut} = 103 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 183 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (103 + 183) \text{ kNm} = 286 \text{ kNm}$$

Tuki T2

$$M_{pys_muut} = 194 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 140 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (194 + 140) \text{ kNm} = 334 \text{ kNm}$$

Tuki T3

$$M_{pys_muut} = 175 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 160 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (175 + 160) \text{ kNm} = 335 \text{ kNm}$$

Tuki T4

$$M_{pys_muut} = 116 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 120 \text{ kNm}$$

$$M_{d,ap\ x} = (116 + 120) \text{ kNm} = 236 \text{ kNm}$$

Kentät ja tuet on tarkasteltu pahimmilla voimilla joilla päädyttiin samaan teräsmäärään kuin vähimmäisraudoituksella. Näin ollen ei tarkastella erikseen reunojen ja keskustan kohdalta ja katsota pienemmillä voimilla.

Kannen yläpinnan raudoitus**Momentti pituussuunnassa**Kenttä 1

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 177 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 124 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = M_{pys_muut} + M_{Lk-osa1} \\ = (177 + 124) \text{ kNm} = 301 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 182 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 248 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (182 + 248) \text{ kNm} = 430 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 182 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 124 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (182 + 124) \text{ kNm} = 306 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 91 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 186 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (91 + 186) \text{ kNm} = 277 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Kentän keskellä

$$M_{pys_muut} = 91 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 124 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (91 + 124) \text{ kNm} = 215 \text{ kNm}$$

Kentän reunoilla

$$M_{pys_muut} = 106 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 208 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (106 + 208) \text{ kNm} = 314 \text{ kNm}$$

Tuki 1

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 188 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 147 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (188 + 147) \text{ kNm} = 335 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 385 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 320 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (385 + 320) \text{ kNm} = 705 \text{ kNm}$$

Tuki 2

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 830 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 229 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (830 + 229) \text{ kNm} = 1059 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 799 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 590 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (799 + 590) \text{ kNm} = 1389 \text{ kNm}$$

Tuki 3

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 861 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 250 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (861 + 250) \text{ kNm} = 1111 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 796 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 598 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (796 + 598) \text{ kNm} = 1394 \text{ kNm}$$

Tuki 4

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 182 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 200 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (182 + 200) \text{ kNm} = 382 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 282 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 285 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ y} = (282 + 285) \text{ kNm} = 567 \text{ kNm}$$

Momentti poikittaissuunnassaKenttä 1

$$M_{pys_muut} = 173 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 110 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = M_{pys_muut} + M_{Ek}$$
$$= (173 + 110) \text{ kNm} = 283 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

$$M_{pys_muut} = 152 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 135 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (152 + 135) \text{ kNm} = 287 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

$$M_{pys_muut} = 148 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = 135 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (148 + 135) \text{ kNm} = 283 \text{ kNm}$$

Tuki T1

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 264 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 108 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (264 + 108) \text{ kNm} = 372 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 258 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 275 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (258 + 275) \text{ kNm} = 533 \text{ kNm}$$

Tuki T2

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 409 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 167 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (409 + 167) \text{ kNm} = 576 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 699 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 500 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (699 + 500) \text{ kNm} = 1199 \text{ kNm}$$

Tuki T3

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 469 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 148 \text{ kNm}$$

$$M_d = (469 + 158) \text{ kNm} = 617 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 634 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 498 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (634 + 498) \text{ kNm} = 1132 \text{ kNm}$$

Tuki T4

Keskellä

$$M_{pys_muut} = 289 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 141 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (289 + 141) \text{ kNm} = 430 \text{ kNm}$$

Reunoilla

$$M_{pys_muut} = 273 \text{ kNm}$$

$$M_{Lk-osa1} = 280 \text{ kNm}$$

$$M_{d,yp\ x} = (273 + 280) \text{ kNm} = 553 \text{ kNm}$$

LeikkausVälituetT2

Keskellä

$$V_{pys_muut} = 569 \text{ kN}$$

$$V_{Lk-osa1} = 312 \text{ kN}$$

$$V_d = (569 + 312) \text{ kN} = 881 \text{ kN}$$

Reunoilla

$$V_{pys_muut} = 698 \text{ kN}$$

$$V_{Lk-osa1} = 544 \text{ kN}$$

$$V_d = (698 + 544) \text{ kN} = 1242 \text{ kN}$$

T3

Keskellä $V_{pys_muut} = 609 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 378 \text{ kN}$
 $V_d = (609 + 378) \text{ kN} = 987 \text{ kN}$

Reunoilla $V_{pys_muut} = 680 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 622 \text{ kN}$
 $V_d = (680 + 622) \text{ kN} = 1302 \text{ kN}$

PäätytuetT1

Keskellä $V_{pys_muut} = 260 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 211 \text{ kN}$
 $V_d = (260 + 211) \text{ kN} = 471 \text{ kN}$

Reuna vt3:n puolella $V_{pys_muut} = 493 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 680 \text{ kN}$
 $V_d = (493 + 680) \text{ kN} = 1173 \text{ kN}$

Reuna e2r4:n puolella $V_{pys_muut} = 409 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 566 \text{ kN}$
 $V_d = (409 + 566) \text{ kN} = 975 \text{ kN}$

T4

Keskellä $V_{pys_muut} = 278 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 227 \text{ kN}$
 $V_d = (278 + 227) \text{ kN} = 505 \text{ kN}$

Reuna vt3:n puolella $V_{pys_muut} = 361 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 650 \text{ kN}$
 $V_d = (361 + 650) \text{ kN} = 1011 \text{ kN}$

Reuna e2r4:n puolella $V_{pys_muut} = 568 \text{ kN}$
 $V_{Lk-osa1} = 645 \text{ kN}$
 $V_d = (568 + 645) \text{ kN} = 1213 \text{ kN}$

6.2 Käyttörajatilat

Mitoitetaan halkeilulle.

Kannen alapinnan rauditus

Momentti poikkisuunnassa

Tuki T1

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 73 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 28 + (0,30 \cdot 63) \text{ kNm} = 46,9 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 66 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 20 + (0,30 \cdot 91) \text{ kNm} = 47,3 \text{ kNm}$$

Kenttä 1

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 69 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 26 + (0,30 \cdot 75) \text{ kNm} = 48,5 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 49 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 14,1 + (0,30 \cdot 67,9) \text{ kNm} = 34,47 \text{ kNm}$$

Tuki T2

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 87 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 44 + (0,30 \cdot 46) \text{ kNm} = 57,8 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 92 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 18,8 + (0,30 \cdot 42) \text{ kNm} = 31,4 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 74 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 29 + (0,30 \cdot 88) \text{ kNm} = 55,4 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 59 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 29 + (0,30 \cdot 63) \text{ kNm} = 47,9 \text{ kNm}$$

Tuki T3

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 88 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 45 + (0,30 \cdot 47) \text{ kNm} = 59,1 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 84 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 24 + (0,30 \cdot 50) \text{ kNm} = 39 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 81 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 36 + (0,30 \cdot 76) \text{ kNm} = 58,8 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 49 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 26 + (0,30 \cdot 58,2) \text{ kNm} = 43,46 \text{ kNm}$$

Tuki T4

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 78,4 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 39 + (0,30 \cdot 48,5) \text{ kNm} = 53,55 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 58,8 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 28 + (0,30 \cdot 67,9) \text{ kNm} = 48,37 \text{ kNm}$$

Momentti pituussuunnassaTuki T1

Lyhytaikaista

$$M = 38 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 31 + (0,30 \cdot 120) \text{ kNm} = 67 \text{ kNm}$$

Kenttä 1

Keskellä:

Lyhytaikaista

$$M = 207 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 193 + (0,30 \cdot 157) \text{ kNm} = 240,1 \text{ kNm}$$

Reunoilla:

Lyhytaikaista

$$M = 243 \text{ kNm}$$

Pitkäaikaista

$$M = 228 + (0,30 \cdot 351) \text{ kNm} = 333,3 \text{ kNm}$$

Tuki T2

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 38 \text{ kNm}$$
$$M = 31 + (0,30 \cdot 37) \text{ kNm} = 42,1 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Keskellä:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 297 \text{ kNm}$$
$$M = 256 + (0,30 \cdot 163) \text{ kNm} = 304,9 \text{ kNm}$$

Reunoilla:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 363 \text{ kNm}$$
$$M = 303 + (0,30 \cdot 312) \text{ kNm} = 396,6 \text{ kNm}$$

Tuki T3

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 38 \text{ kNm}$$
$$M = 31 + (0,30 \cdot 30) \text{ kNm} = 61,3 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Keskellä:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 232 \text{ kNm}$$
$$M = 210 + (0,30 \cdot 157) \text{ kNm} = 257,1 \text{ kNm}$$

Reunoilla:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 279 \text{ kNm}$$
$$M = 252 + (0,30 \cdot \quad) \text{ kNm} = 333,6 \text{ kNm}$$

Tuki T4

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 38 \text{ kNm}$$
$$M = 31 + (0,30 \cdot 74) \text{ kNm} = 53,2 \text{ kNm}$$

Kannen yläpinnan raudoitus**Momentti poikkisuunnassa**Kenttä 1

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 105 \text{ kNm}$$
$$M = 86 + (0,30 \cdot 39) \text{ kNm} = 97,7 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 98 \text{ kNm}$$
$$M = 86 + (0,30 \cdot 61) \text{ kNm} = 104,3 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 82 \text{ kNm}$$
$$M = 16 + (0,30 \cdot 60) \text{ kNm} = 34 \text{ kNm}$$

Tuki T1

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 208,0 \text{ kNm}$$
$$M_d = 172 + (0,30 \cdot 153) \text{ kNm} = 217,9 \text{ kNm}$$

Tuki T2

Keskellä:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 321 \text{ kNm}$$
$$M = 188 + (0,30 \cdot 69) \text{ kNm} = 208,7 \text{ kNm}$$

Reunoilla:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 526 \text{ kNm}$$
$$M = 397 + (0,30 \cdot 270) \text{ kNm} = 478 \text{ kNm}$$

Tuki T3

Keskellä:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 397 \text{ kNm}$$
$$M = 250 + (0,30 \cdot 79) \text{ kNm} = 273,7 \text{ kNm}$$

Reunoilla:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 502 \text{ kNm}$$
$$M = 376 + (0,30 \cdot 282) \text{ kNm} = 460,6 \text{ kNm}$$

Tuki T4

Keskellä:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 204 \text{ kNm}$$
$$M = 92 + (0,30 \cdot 80) \text{ kNm} = 116 \text{ kNm}$$

Reunoilla:
Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 207 \text{ kNm} / m$$
$$M = 174 + (0,30 \cdot 155) \text{ kNm} = 220,5 \text{ kNm}$$

Momentti pituussuunnassaKenttä 1

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 79 \text{ kNm}$$
$$M = 114 + (0,30 \cdot 136) \text{ kNm} = 154,8 \text{ kNm}$$

Kenttä 2

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 134 \text{ kNm}$$

$$M = 114 + (0,30 \cdot 79) \text{ kNm} = 137,7 \text{ kNm}$$

Kenttä 3

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 134 \text{ kNm}$$

$$M = 114 + (0,30 \cdot 92) \text{ kNm} = 141,6 \text{ kNm}$$

Tuki T1

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 299 \text{ kNm}$$

$$M_d = 251 + (0,30 \cdot 181) \text{ kNm} = 305,3 \text{ kNm}$$

Tuki T2

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 604 \text{ kNm}$$

$$M = 560 + (0,30 \cdot 330) \text{ kNm} = 659 \text{ kNm}$$

Tuki T3

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 655 \text{ kNm}$$

$$M = 557 + (0,30 \cdot 332) \text{ kNm} = 656,6 \text{ kNm}$$

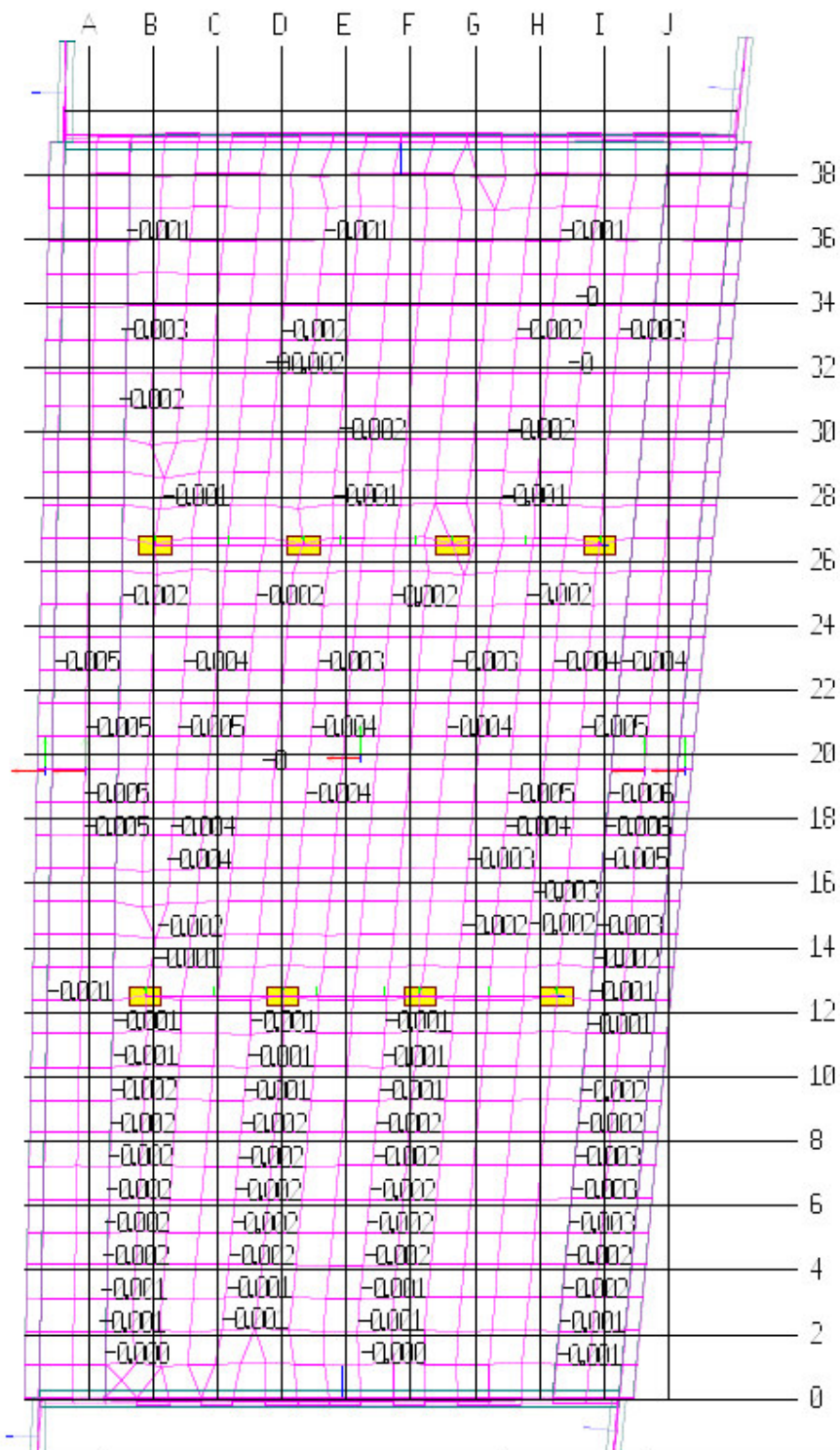
Tuki T4

Lyhytaikaista
Pitkäaikaista

$$M = 220 \text{ kNm}$$

$$M = 195 + (0,30 \cdot 152) \text{ kNm} = 240,6 \text{ kNm}$$

Pysyvät - Displacements - Graph/Code : Finnish (B4:2001)/Units : [m]



Project		Scale	1 : 200
Description		File name	Pys-muut_KRT_2.str
Designer		Date/Time	04/23/07 11:54:20
Signature		Comments	
FEM-Design 7.0 - © StruSoft			page : 1